

**ANÁLISIS DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN
CARIBE COLOMBIANA**



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827

TATIANA JIMENEZ PARODI

DANNA RODRIGUEZ MARQUEZ

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

CARTAGENA D.T. Y C.

2018

**ANÁLISIS DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN
CARIBE COLOMBIANA**

TATIANA JIMENEZ PARODI

DANNA RODRIGUEZ MARQUEZ

Autores

Trabajo de grado realizado para optar por el título de Ingeniero Civil

ING. EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS MSc, PhD

Director

GRUPO DE INVESTIGACIÓN MODELACIÓN AMBIENTAL (GIMA)

Línea de investigación: Ambiental

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

CARTAGENA D.T. Y C.

2018



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le agradecemos a Dios por permitirnos culminar este trabajo como se tenía planeado y lograr este proceso de formación como Ingenieras Civiles.

A nuestros familiares (hermana gemela), (padres), por brindarnos su apoyo incondicional, acompañarnos y motivarnos a cumplir nuestras metas.

A Nuestro director de tesis Edgar Quiñones Bolaños, por su dedicación, seguimiento y confianza.

A los ingenieros Jorge Corrales, Gustavo Calderón y Héctor Mario Herrera por contribuir con sus experiencias en esta investigación acerca del uso y manejo del agua subterránea.

A nuestros profesores Guilliam Barboza, Javier Mouthon, Edgar Quiñones, Alfonso Arrieta por ser partes importantes en la determinación de grado de importancia de los componentes del índice GSII.

Le agradecemos a la Universidad de Cartagena por todos los conocimientos adquiridos, al grupo de investigación GIMA por brindar un espacio y recursos para llevar a feliz término esta investigación.

En general a los funcionarios de las universidades visitadas y de las corporaciones autónomas regionales que nos facilitaron la obtención de toda la información.

A nuestros amigos y compañeros de clases por hacer más ameno el camino y por compartir con nosotras logros y momentos difíciles.

“La satisfacción radica en el esfuerzo, no en el logro. El esfuerzo total es una victoria completa”

-Mahatma Gandhi



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. MARCO DE REFERENCIA	14
2.1 ANTECEDENTES	14
2.2 ESTADO DEL ARTE	19
2.3 MARCO TEÓRICO	24
2.3.1 Ciclo hidrológico	24
2.3.2 Modelo hidrogeológico conceptual	24
2.3.3 Provincias hidrogeológicas	25
2.3.4 Acuífero	25
2.3.5 Agua subterránea	26
2.3.6 Qué es el manejo de aguas subterráneas	27
2.3.7 DOFA	27
2.3.8 Índice de infraestructura de sostenibilidad de las aguas subterráneas (GSII) ..	29
2.4 MARCO LEGAL	30
2.5 MARCO INSTITUCIONAL	32
3. OBJETIVOS	34
3.1 OBJETIVO GENERAL	34
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
4. ALCANCE	35
5. METODOLOGÍA	39
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	40
5.1.1 Descripción del medio físico	40
5.1.2 Descripción de aspectos-socioeconómicos	40
5.1.3 Identificación de los actores involucrados	40
5.2 RECOLECCIÓN U OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN	40



5.2.1	Descripción de los avances técnicos y científicos	41
5.3	EVALUACIÓN Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	41
5.4	ANÁLISIS DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA	42
5.4.1	Análisis DOFA sobre el uso y manejo del agua subterránea	42
5.4.2	Aplicación del índice de GSII.....	42
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
6.1	SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA.....	45
6.2	DESCRIPCIÓN DE AVANCES TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS.....	47
6.3	NOVEDADES Y/O ACCIONES EN EL MUNDO ACERCA DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA	49
6.4	DIAGNÓSTICO GENERAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN CARIBE.....	52
6.4.1	Características del medio físico de la Región Caribe Colombiana	52
6.4.2	Tipologías socioeconómicas de la zona de estudio.....	70
6.4.3	Actores involucrados en el manejo del agua subterránea	73
6.4.4	Representación y evaluación del uso del agua subterránea	75
6.4.5	Análisis general sobre el uso y manejo del agua subterránea en la región Caribe	81
6.4.6	Análisis de Debilidades Oportunidades Fortalezas y Amenazas	83
6.5	INDICADORES SOCIALES Y AMBIENTALES SOBRE EL USO DEL AGUA EN LA REGIÓN CARIBE	88
6.6	INDICE DE SOSTENIBILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN CARIBE.....	90
7.	CONCLUSIÓN	93
8.	RECOMENDACIONES.....	95
8.1	Limitaciones.....	95
8.2	Recomendaciones	95
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
	ANEXOS.....	103



TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	12
Imagen 2. Área con estudios hidrogeológicos realizados por INGEOMINAS.....	15
Imagen 3. Mapa de acuíferos.....	16
Imagen 4. Ciclo hidrológico.	24
Imagen 5. Acuíferos libres, confinados y semiconfinados.	26
Imagen 6. Delimitación geográfica.....	35
Imagen 7. Sistema de acuíferos.....	36
Imagen 8. Mapa de precipitación media anual de Colombia modificado.....	52
Imagen 9. Mapa Hidrogeológico del acuífero de Palenque. En azul oscuro el acuífero de Palenque, en azul claro acuífero de San Cayetano y en verde el Acuífero de los depósitos Cuaternarios.	56
Imagen 10. Ecorregiones estratégicas, Departamento del Cesar.	58
Imagen 11. Principales acuíferos del departamento de Córdoba.	63
Imagen 12. Principales acuíferos en la cuenca Ranchería.	65
Imagen 13. Grupos de ecosistemas designadas por CORPOMAG.....	67
Imagen 14. Mapa de usos del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana.....	76

TABLA DE GRÁFICOS

Grafica 1. Distribución de las reservas de agua subterránea por provincia hidrogeológica.	17
Grafica 2. Distribución de uso según áreas de jurisdicción de corporaciones.	18
Grafica 3. Esquema simplificado de una matriz DOFA.	28
Grafica 4. Esquemización de la metodología.....	39
Grafica 5. Los cinco índices de sostenibilidad.....	43
Grafica 6. Usos del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana.....	75
Grafica 7. Puntos de captación del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana.....	77
Grafica 8. Estado de pozos de acuífero Arroyo Grande.....	78
Grafica 9. Puntos de agua según distribución por municipio, Departamento del Cesar.	79
Grafica 10. Captaciones de agua subterránea distribuida por municipios registrados por la CVS Córdoba.....	79
Grafica 11. Captaciones según distribución por municipios en el Departamento de La Guajira.....	80



LISTA DE TABLA

Tabla 1. Componentes e indicadores del índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea.	29
Tabla 2. Ficha nemotécnica para la recolección de la información.	41
Tabla 3. Resumen de los documentos más relevantes utilizados como referencia en el uso y manejo del agua subterránea.	45
Tabla 4. Características de Acuíferos de Arroyo Grande	57
Tabla 5. Análisis DOFA del uso del agua subterránea en la región Caribe Colombiana	87
Tabla 6. Pesos atribuidos a cada departamento de la región Caribe Colombiana por expertos	90
Tabla 7. Ajuste de indicadores para análisis del índice GSII.....	91
Tabla 8. Pesos comparativos para cada departamento de la región Caribe.	91

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los actores involucrados en el manejo y uso del agua subterránea.....	74
--	----



RESUMEN

El agua subterránea juega un rol importante como alternativa de abastecimiento de agua potable a las poblaciones y para realizar actividades agropecuarias entre otras. En el presente proyecto se efectúa el análisis del uso y manejo del agua subterránea en la región Caribe Colombiana para conocer el estado actual de su aprovechamiento y las buenas prácticas que se le da al recurso en esta región, así como también mostrar el camino que se debe tomar para implementar acciones referentes, que contribuyan al buen manejo del recurso hídrico. Para cumplir este objetivo se realizó primero una búsqueda y compilación de la información pertinente, luego una síntesis y análisis a través de la metodología DOFA y el índice de GSII, además se representó gráficamente el uso que se le da al recurso en la región, a través de diagrama de torta y de barras, mostrando la cantidad de recurso disponible.

Con esto se obtuvo que el recurso hídrico subterráneo en la región Caribe Colombiana es abundante y de buena calidad en la mayoría de las zonas, usado altamente en los sectores rurales donde las aguas superficiales no son aptas para consumo, y el acceso al sistema de acueducto es difícil, los usos que más se le da a este recurso es el doméstico, seguido de la ganadería o agricultura, lo que establece una relación entre las condiciones de los terrenos y el uso del recurso, puesto que es más aprovechado en las poblaciones rurales. La forma más usada para su extracción son los aljibes, seguida de pozos y por último los manantiales. El agua subterránea en la región presenta una infraestructura de sostenibilidad por debajo del aceptable con un índice de 0,41 y el departamento mejor posicionado respecto a sostenibilidad es Sucre con un índice de 0,54 pasando a aceptable.

A partir del análisis realizado se concluyó de forma general que a nivel de la región Caribe Colombiana existe un gran potencial del recurso hídrico subterráneo en cuanto a calidad y cantidad, sin embargo está atrasada en políticas de sostenibilidad que garantice un uso integral del recurso de manera eficiente, como lo hacen otros países, entre ellos Canadá y México, que es lo que se quiere lograr. De acuerdo a esto, se hace necesario actualizar y hacer seguimiento a los estudios, a los puntos de captación y acuíferos usados, para asegurar una



información fructuosa de la dinámica de las aguas subterráneas en el país y así implementar las acciones adecuadas para su preservación.

Palabras claves: agua subterránea, sostenibilidad, manejo eficiente.



ABSTRACT

Groundwater plays an important role as an alternative to provide drinking water to populations and to carry out agricultural activities, among others. In the present project the analysis of the use and management of groundwater in the Colombian Caribbean region is made to know the current state of its use and the good practices that are given to the resource in the region, as well as to show the way to be taken to implement referent actions that contribute to the good management of the water resource. In order to achieve this objective, a search and compilation of the relevant information was carried out first, followed by a synthesis and analysis through the SWOT methodology and the GSII index. In addition, the use given to the resource in the region was represented graphically through cake and bar diagram, showing the amount of available resource.

With that information, it was obtained that the groundwater resource in the Colombian Caribbean region is abundant and with a good quality in most of the zones, used highly in the rural sectors where the superficial waters are not suitable for consumption, and the access to the aqueduct system is difficult, the most common uses of this resource is domestic, followed by livestock or agriculture, which establishes a relationship between the conditions of the land and the use of the resource, since it is more used in rural populations. The aljibes are the most used for their extraction, followed by wells and finally the springs. Groundwater in the region has a sustainability infrastructure below acceptable with an index of 0,47 and the department with the best position regarding sustainability is Sucre with an index of 0,54 passing to acceptable.

Based on the analysis carried out, it was generally concluded that at the level of the Colombian Caribbean region there is a great potential of the groundwater resource in terms of quality and quantity, however it is lagging behind in sustainability policies that guarantee an integral use of the resource like other countries, including Canada and Mexico, which is what we want to achieve. Accordingly, it is necessary to update and monitor the studies, the catchment points and aquifers used, to ensure a fruitful information on the dynamics of their use in the country and thus implement the appropriate actions for their preservation.

Keywords: groundwater, sustainability, efficient management



1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un elemento esencial del ciclo hidrológico y un valioso recurso natural que constituye una de las principales fuentes de agua para la agricultura y para usos domésticos e industriales en todo el mundo. Cerca de la mitad del agua potable del mundo y un 43 % del agua que se consume efectivamente para la irrigación provienen de fuentes subterráneas (Programa Hidrológico Internacional, 2015). Dada su importancia se requiere tener un mejor conocimiento acerca de este recurso.

Colombia por su parte cuenta con un gran potencial del recurso hídrico subterráneo distribuido en todo el territorio nacional y el 31,5 % corresponde a la región Caribe e insular como indica el IDEAM en el estudio nacional del agua: información para la toma de decisiones 2015. A pesar de ello, el aprovechamiento del agua subterránea en la mayor parte del territorio Colombiano es todavía muy incipiente, debido a la falta de información analizada, también al no aprovechamiento del potencial de tales recursos, entre otras cosas, tanto a nivel regional como local (Rodríguez; Vargas; Jaramillo; Piñeros; Cañas, 2010). Para mejorar esta situación, una de las formas es, unificar y analizar la información existente a cerca del manejo de este recurso, que permita establecer el estado actual y hacia donde se quiere ir, a nivel nacional realizándolo por regiones. Este proyecto está delimitado a la región Caribe Colombiana. Teniendo como centros de información las corporaciones autónomas regionales y las principales universidades públicas de cada departamento de la región Caribe Colombiana.

La región Caribe al igual que el resto de las regiones del país presenta una dispersión de información acerca del uso, explotación y manejo del agua subterránea, que trae como consecuencia, que las instituciones encargadas de su manejo tomen decisiones improductivas y no se aproveche el potencial que tiene este recurso para ser usada en el país; otro problema asociado a dicho recurso, es saber si el uso que se le está dando actualmente genera alteraciones en el ciclo natural del agua subterránea, dada la condición del cambio climático.



Los primeros estudios desarrollados alrededor de este recurso fueron realizados por INGEOMINAS en 1950, el cual buscaba evaluar el potencial hídrico del subsuelo Colombiano e identificar que aporte se podía realizar a la sociedad en cuanto a agua potable específicamente, todo esto con miras a constituir una alternativa necesaria hacia el futuro por posible desabastecimiento en época de sequía. Estos estudios se quedan cortos a la hora de establecer patrones de uso, y, como bien lo citan ellos, se requiere aún más estudios y/o proyectos que permitan garantizar una gestión integral de este recurso (INGEOMINAS, 2004).

Este proyecto se realizará en los departamentos de la Guajira, Magdalena, Cesar, Sucre, Bolívar y norte de Córdoba, que conforman la Región Caribe de Colombia la cual es el objeto de estudio del presente trabajo de investigación, como se observa en la *imagen 1*.



Imagen 1. Ubicación geográfica del área de estudio. Fuente: Google Earth modificado por autores

En la Región Caribe gran parte de la población cuenta con el agua subterránea como forma de abastecimiento, incluso en algunas ciudades, sea el caso de la ciudad de Santa Marta, donde es la fuente principal de agua para consumo doméstico.

En este trabajo se busca analizar el conocimiento que existe en la zona de estudio acerca del uso y manejo del agua subterránea, para así establecer que está ocurriendo alrededor de este



recurso hídrico vital no renovable y proponer una alternativa acerca del manejo del mismo. Ante esta situación surgen los siguientes interrogantes ¿Cuáles son las buenas practicas que se adelantan en relación al uso y manejo del agua subterránea en la región?, ¿Cuáles son las tendencias investigativas con respecto a esta? y ¿Qué acciones se están implementado para afrontar el cambio climático en los acuíferos?

De acuerdo con esto, se busca conocer el estado actual y real de los usos y buenas prácticas del agua subterránea en la región Caribe, así como las tendencias investigativas hasta el momento sobre este recurso, logrando mostrar con su análisis el camino próximo que tomarían las acciones correspondientes, es decir, crear herramientas tanto a nivel regional como nacional que sirvan para la planificación estratégica de este recurso tan importante.

Este proyecto está clasificado en el área de gestión ambiental de la ingeniería Civil. Como información pertinente se tiene que la realización de este proyecto de investigación generará un aporte al proyecto desarrollado en el grupo de investigación GIMA de la Universidad de Cartagena en alianza con la Universidad de Ryerson titulado “Fortalecimiento de la resiliencia de acuíferos costeros y la utilización de las aguas subterráneas para enfrentar los efectos del cambio climático en la costa Caribe Colombiana”, con el estado actual de la región Caribe en cuanto al manejo y uso de las aguas subterráneas y la identificación de acciones para combatir el cambio climático.

Los productos de este trabajo proporcionarán una base para la planificación regional o para toma de decisiones a los entes ambientales de cada municipio de la región así como al Servicio Geológico Colombiano, a las CAR, y para futuras investigaciones. Es importante resaltar que este análisis no se ha realizado anteriormente en el país lo que realza la innovación y la aplicabilidad de los productos de investigación.



2. MARCO DE REFERENCIA

En el presente capítulo se desarrollan los antecedentes, estado del arte y describen los conceptos, normativas relacionadas con el uso y manejo del agua subterránea en la región Caribe. Este capítulo se subdivide en tres grupos, el primero en antecedentes y estado del arte, el segundo marco teórico y/o conceptual y el tercero en marco legal e institucional.

2.1 ANTECEDENTES

La exploración de aguas subterráneas en el país es una iniciativa del INGEOMINAS, el cual buscaba evaluar el potencial hídrico del subsuelo Colombiano e identificar que aporte se podía realizar a la sociedad en cuanto a agua potable específicamente. El estudio inició en el año 1950, en el que se involucraron entidades públicas y privadas relacionadas con la exploración, gestión, manejo y uso del recurso como también universidades y autoridades ambientales; todo esto con miras a constituir una alternativa necesaria hacia el futuro por posible desabastecimiento en época de sequía.

Los primeros estudios hidrogeológicos se llevaron a cabo en los departamentos de Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia. En los años 60 se continuó con los estudios en algunas poblaciones de los departamentos de Tolima, Bolívar, Santander y Caldas, así como otros complementarios en Boyacá y Valle del Cauca (INGEOMINAS, 2004). En los años 80 se realizó la exploración de aguas subterráneas en Cúcuta, en los valles de Ubaté y Chiquinquirá, en la Media y Alta Guajira, en los departamentos de Atlántico y Bolívar, en el noreste de Urabá y en la Isla de Mompós, adicionalmente se hicieron estudios locales para perforar pozos de abastecimiento en los departamentos de Córdoba, Magdalena, Guajira y Bolívar.

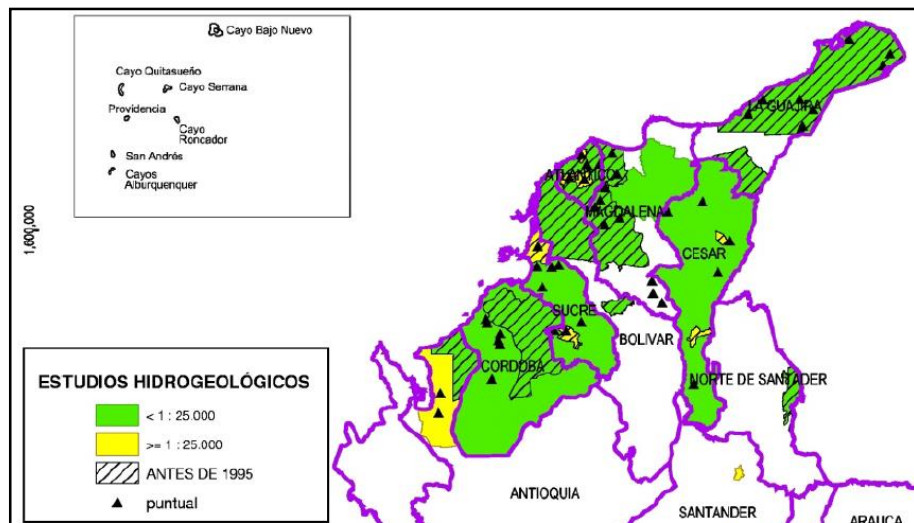


Imagen 2. Área con estudios hidrogeológicos realizados por INGEOMINAS. Fuente: Programa de exploración de Aguas Subterráneas.

A partir de este plan de estudio, el INGEOMINAS también inició la elaboración del Atlas de aguas subterráneas de Colombia en una escala de 1:500.000 (Imagen 2), que comprende la compilación y análisis de los estudios hidrogeológicos ejecutados por este instituto y otras entidades.

En los años 90, a través de convenios con el CONPES-Costa Atlántica, las Corporaciones Autónomas Regionales, los entes territoriales y algunas empresas de servicios públicos, se realizaron evaluaciones hidrogeológicas en el Valle del Patía, la Sabana de Bogotá, el Urabá antioqueño, los departamentos del Huila, Cesar, Tolima, Magdalena, Sucre, Córdoba y la Isla de San Andrés (INGEOMINAS, 2004).

El INGEOMINAS para desarrollar el plan de Exploración de Aguas Subterráneas tuvo en cuenta aspectos como, el déficit de agua para consumo humano y las deficiencias de los sistemas actuales de abastecimiento, así como las distintas categorías de uso económico del agua como: doméstico, uso público, comercial, irrigación, industrial, entre otros. Este análisis a nivel nacional, permite identificar dos aspectos relacionados con la escasez en volumen y calidad no adecuada del recurso hídrico; el primero es el déficit de abastecimiento por la falta de fuentes superficiales y el segundo es la existencia de fuentes superficiales de carácter



estacional (intermitentes) o que presentan contaminación. Las zonas con déficit de abastecimiento para el consumo se ubican especialmente en áreas de microclimas áridos en Nariño, Eje Cafetero, Tunja Valle de Sogamoso, Norte de Santander, occidente de Antioquia, Sucre (Morroa) y en algunas áreas del Cesar y la Guajira, entre otros. Las zonas donde las fuentes son intermitentes y de calidad no recomendada para su aprovechamiento, se ubican en la Guajira, norte de Córdoba, Urabá, Bajo Cauca, medio Magdalena antioqueño, y en las sabanas de Arauca, Casanare, Meta y Caquetá.

En estas zonas, donde se identifican necesidades del recurso hídrico, el agua subterránea es una alternativa viable, por lo que se requieren estudios hidrogeológicos orientados a la generación y mejoramiento del conocimiento del subsuelo.

El INGEOMINAS, algunas corporaciones autónomas y universidades han realizado estudios hidrogeológicos en escala regional, local y puntual en varias regiones del país, donde, sin embargo, es necesario llevar a cabo mayor investigación e integración de información nueva del subsuelo para complementar los modelos conceptuales obtenidos, realizando perforaciones exploratorias para validar estos modelos (*Imagen 3*). Desde este punto de vista, se incluyen las siguientes áreas: Valle Superior del Magdalena, Urabá, Sucre (Morroa y Morrosquillo), Guajira, entre otros (INGEOMINAS, 2004).

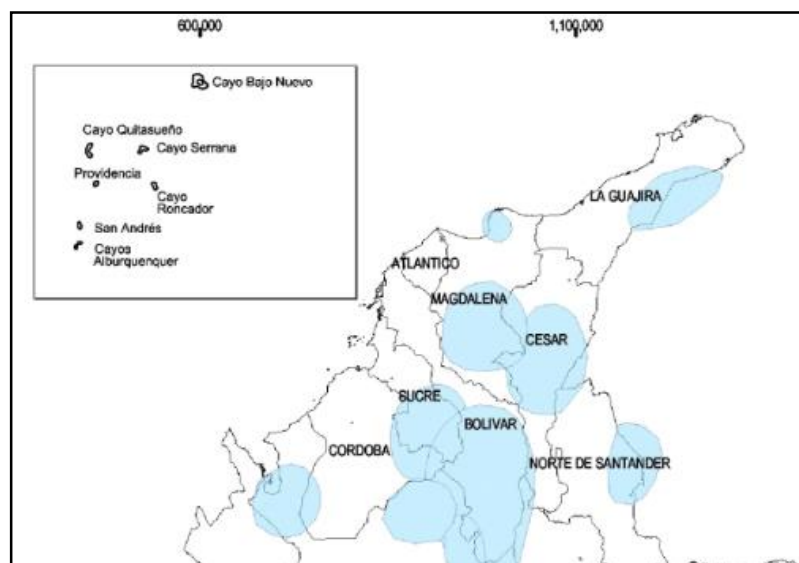
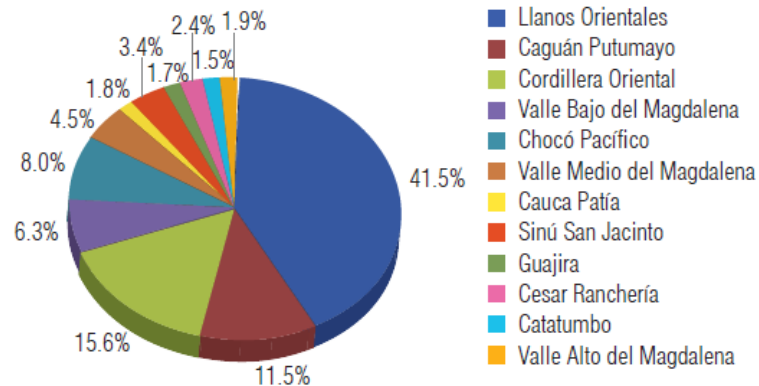


Imagen 3. Mapa de acuíferos. Fuente: Programa de exploración de aguas subterráneas 2004.

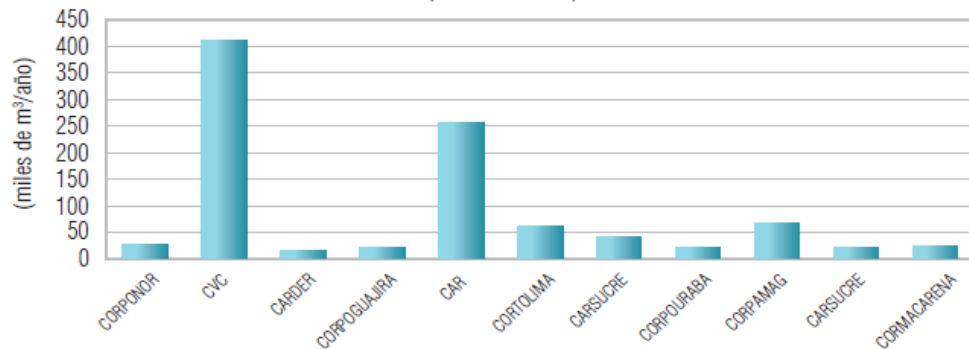


De acuerdo al Estudio Nacional del Agua publicado por el IDEAM en 2010, el volumen total de aguas subterráneas es del orden de 5.848×10^9 metros cúbicos (5.848 km^3). En la *Gráfica 1*, se presenta la distribución de las reservas por provincias.



Gráfica 1. Distribución de las reservas de agua subterránea por provincia hidrogeológica. Fuente: Oferta y uso del Agua Subterránea en Colombia. ENA 2010

Las provincias con mayor aprovechamiento de aguas subterráneas en la actualidad se relacionan, en términos de uso de las aguas subterráneas para los sectores doméstico, agrícola, industrial, pecuario, servicios y otros. El sector agrícola es el que mayor uso hace del agua subterránea (75 %), seguido de lejos por el sector doméstico (9 %) y el industrial (7 %) (Rodríguez; Vargas; Jaramillo; Piñeros;Cañas, 2010). En el *Gráfico 2*, queda claro que los mayores consumidores de agua subterránea en el país son los usuarios de las áreas de jurisdicción de CVC, CAR, CORTOLIMA, CORPAMAG, CORPONOR, CORPOGUAJIRA, CARSUCRE, CORPOURABÁ Y CORMACARENA.



Grafica 2. Distribución de uso de agua subterránea según áreas de jurisdicción de corporaciones en miles de m³/año. Fuente: Oferta y uso del agua subterránea en Colombia. ENA 2010

Teniendo en cuenta la información publicada de INGEOMINAS, en su estudio de agua subterráneas, se observa que la zona de Sucre (Morroa y Morrosquilo) y Guajira requiere de estudios de detalle para actualizar la información, además de la zona de Cesar y sur de Bolívar requieren estudios de detalle para gestión abastecimiento y contaminación.

Estos estudios a nivel nacional acerca del uso del agua subterránea para cada provincia hidrogeológica, se hicieron con base en la información disponible sobre caudales extraídos mediante pozos, en los estudios regionales realizados por las autoridades ambientales. Esta información se presenta consolidada por sectores económicos, de manera general. La información reportada por las corporaciones debe ser validada a futuro, pues no obedece al rigor de los registros administrativos, en la mayoría de los casos. En este sentido, se permite aclarar que la información presentada es apenas indicativa y que este deberá ser uno de los temas de profundización de los estudios nacionales de agua en el futuro, para consolidar estadísticas de uso robustas, provenientes de registros administrativos consistentes (Rodríguez, et al, 2010).

A nivel de la costa Caribe, se viene desarrollando el proyecto “Fortalecimiento de la resiliencia de acuíferos costeros y la utilización de las aguas subterráneas para enfrentar los efectos del cambio climático en la costa Caribe Colombiana” liderado por la Universidad Ryerson y el grupo de investigación Modelación Ambiental (GIMA) de la Universidad de Cartagena, este proyecto está orientado a incrementar la apropiación social del conocimiento sobre el uso sostenible de las fuentes de agua subterránea como fuentes alternativas de



suministro, entrenar investigadores en el área de recursos de agua subterránea, implementar proyectos de investigación para el uso sostenible de los recursos de agua subterránea y proponer la mejora de la legislación actual sobre recursos subterráneos.

En cuanto a investigaciones en la universidad de Cartagena, sí, se ha estudiado el agua subterránea, pero desde un enfoque distinto al que se trabajará en este proyecto, puesto que aquellos estaban enfocados en identificar la carga de contaminantes y la calidad fisicoquímica del agua subterránea en el municipio de Turbaco; análisis en el comportamiento hidrogeológico del flujo de aguas subterráneas en el municipio de Turbaco y la influencia de las características del agua subterránea en la resistencia de las unidades de mampostería de concreto, lo que demuestra que este proyecto no se ha realizado antes.

2.2 ESTADO DEL ARTE

Las aguas subterráneas constituyen importantes reservas de agua dulce con una menor susceptibilidad a procesos de contaminación y degradación en comparación con las fuentes superficiales. De ahí la importancia de conocer su ocurrencia, distribución y principales características hidráulicas, hidrológicas e hidrogeoquímicas para una gestión adecuada y sostenible del recurso (IDEAM, 2015B). Por tal motivo, es importante conocer como es estudiado este recurso en otros lugares; dichas investigaciones se relacionan a continuación.

Alrededor del mundo se ha incrementado el interés por conocer el potencial que puede tener este recurso hídrico, siendo así se encuentran diferentes estudios, un ejemplo es El estudio Nacional del Agua IDEAM (2015B) aquí en Colombia, el cual muestra una radiografía general del agua subterránea en el país y que para este proyecto de investigación es vital, porque, es lo más actual acerca de los lugares en la región Caribe que han y están trabajando sobre este recurso. Para ello utilizaron un procedimiento metodológico esquemático para la actualización del componente de aguas subterráneas referente a la caracterización de los sistemas acuíferos, la consolidación del inventario nacional de puntos de aguas, la



actualización de volúmenes de agua concesionada sujeta a cobro por TUA (tasa de utilización de agua); las fuentes de información que emplearon provienen principalmente de estudios locales realizados por Autoridades Ambientales, las memorias descriptivas de las planchas del Atlas Hidrogeológico elaborado por INGEOMINAS (2003-2004), así como estudios regionales de diversas instituciones de nivel nacional. La información presentada por lo tanto, constituye una aproximación al conocimiento actual de las aguas subterráneas, que debe ser mejorada y complementada con estudios específicos actualizados sobre explotación de aguas subterráneas, usos y características de captación (IDEAM, 2015B).

Al estudiar el manejo del agua subterránea también es importante identificar la participación del gobierno o las estrategias de control que tienen respecto a este recurso, un ejemplo de estos estudios es el realizado por Hoogesteger & Wester(2015), el cual presenta el desarrollo del agua subterránea y los logros de enfoques de gobernanza (gestión y planificación del uso de agua subterránea), mediante un marco conceptual estratificado conformado por un núcleo interno que comprende el estudio de las redes hidrosociales de acuerdo a (Wester, 2008) que constituyen las socioecologías de las aguas subterráneas, es decir, las configuraciones de las tecnologías, los seres humanos, las aguas subterráneas y otros recursos productivos y materiales. La capa externa consiste en los dominios y discursos en los que se produce la acumulación de agua subterránea. Utilizan un enfoque sociotécnico para los estudios interdisciplinarios de la gestión del agua. En este enfoque, las tecnologías del agua son vistas como una forma de mediación entre la sociedad y los recursos naturales, en la que lo social, lo técnico y lo material son analizados simultáneamente como dimensiones diferentes pero internamente relacionados de un mismo objeto.

Para conocer el progreso del manejo del agua subterránea y su sostenibilidad se encuentra la investigación desarrollada en Katmandú, Nepal, por Pandey et al (2011), el cual busca determinar un índice de sostenibilidad de las aguas subterráneas en ese país. Esta investigación es de gran importancia puesto que sirve de guía y permite aplicar su metodología para cumplir uno de los objetivos que contiene el presente proyecto. Los autores realizan el análisis de las siguientes categorías generales utilizadas como componentes del índice de infraestructura de sostenibilidad de las aguas subterráneas (GSII): participación



pública (PPP) para la dimensión social; el monitoreo de aguas subterráneas (GwM) para el medio ambiente; intervenciones reguladoras (ReI) para el desarrollo económico; y la responsabilidad institucional (InR) para las dimensiones institucionales. Además, el GSII incluye un componente sobre la generación y difusión del conocimiento (KgD). La situación de cada indicador en términos de logro de la sostenibilidad del agua subterránea lo clasificaron en cinco clases en una escala de 0-1: muy pobre (0,00), pobre (0,25), aceptable (0,50), bueno (0,75) y excelente (1,0). Los resultados del estudio mostraron que la cobertura (espacial y temporal) de la vigilancia (nivel del agua subterránea, extracción, calidad y hundimiento de la tierra) es inadecuada y la calidad de los datos, almacenamiento y difusión son pobres en la práctica. Se supone que los cinco componentes del GSII son universales y se espera que abarquen la mayoría de los medios como indicadores de los componentes. Sin embargo, se espera que los indicadores sean flexibles y se puedan modificar para que se adapten mejor al área de estudio.

En Buenos Aires más específicamente en el partido de Tandil, se evaluó integralmente las características hidrogeológicas y la gestión de una agua subterránea en ámbitos urbanos y rurales por Rodríguez C.I (2014), se sabe que la región Caribe Colombiana contiene tanto zonas rurales como urbanas, es aquí donde se ve la utilidad del estudio que se trae a colación, puesto que permite por medio de su metodología mostrar el camino a seguir cuando se tiene información a evaluar. La metodología que empleo la autora consistió en el relevamiento y análisis de la información antecedente vinculada a la temática hidrológica local. Describió y evaluó el área de estudio, tanto en sus aspectos sociales como físico-naturales y, en particular, para caracterizar el sistema hídrico subterráneo. Además, identifiqué los actores involucrados en el manejo del agua y realizo entrevistas a los informantes clave. La metodología también incluyó un enfoque sistémico para integrar la información tanto natural como social. En ese sentido, el análisis DAFO identificó las fortalezas y debilidades que afectan la gestión del agua subterránea a escala local. Se destaca la necesidad de promover la gestión integrada del agua basada en: su estudio y monitoreo; la generación y difusión del conocimiento sobre el recurso; la participación pública en la toma de decisiones relacionadas a la temática; y la aplicación de regulaciones sobre su uso y manejo. Como resultados propusieron indicadores



de sustentabilidad ambiental útiles para la toma de decisiones y el seguimiento de dicha gestión. Asimismo, se efectuaron actividades de educación ambiental en ámbitos formales y no formales. Finalmente, propusieron pautas para la gestión sustentable acordes a la realidad local.

Conociendo acerca de sostenibilidad y de agua subterránea se tomó el siguiente estudio como herramienta para determinar ¿cómo es la relación entre uso del agua subterránea y su sostenibilidad? y crear bases para mejores criterios en cuanto a las posibles conclusiones a sacar en el proyecto de investigación. Un ejemplo, es el estudio *Uso del agua subterránea y desarrollo sostenible* por Kruse E (2015) realizado en Argentina. En el cual se observa un comparativo entre el uso y sostenibilidad del A.S en dos situaciones, permite establecer una relación clave entre el uso y sostenibilidad para entender y desarrollar la investigación a realizar. En este trabajo para caracterizar los recursos hídricos subterráneos se diferencian dos grandes ambientes relacionados con el desarrollo de las actividades antrópicas en el noreste de la provincia de Buenos Aires, tomando la zona de La Plata y alrededores. El autor establece que ese mejor conocimiento hidrogeológico encontrado en la investigación debe proporcionar a las autoridades gubernamentales y los usuarios en general datos útiles como base para establecer directrices que mejoren la gobernanza de las aguas subterráneas. Así, es necesario usar en forma complementaria y armónica las aguas superficiales y subterráneas, tendiendo a la preservación del recurso y del ambiente. Las áreas de explotación deberían encontrarse en zonas protegidas y alejadas de la zona de descarga regional para disminuir las posibilidades de contaminación y salinización y que se deben compatibilizar los excesos de agua que alimentan las aguas subterráneas con las demandas y reservas del recurso hídrico.

Cuando se tiene una zona con características particulares que hacen que sea un reto el buen manejo de las aguas subterráneas (por ejemplo La Guajira), zonas semi desérticas se hace necesario crear ciertas estrategias que permitan el buen uso del agua subterránea, seguido esto, está el estudio *Estrategia para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en una zona semiárida de Guatemala* por Herrera & otros (2011) desarrollado en Guatemala. En general, se observa una visión integradora acerca del recurso de aguas subterráneas y cuáles son los factores que influyen en su uso, resaltando la poca gobernabilidad acerca de este y el



mal manejo que se tienen actualmente en la mayor parte del planeta. El artículo está dirigido a constituir un documento guía, para el manejo de los recursos hídricos por parte de la municipalidad de San Luis Jilotepeque. La estrategia para el aprovechamiento del recurso hídrico se estableció dentro del contexto económico-social local y en base a las actuales condiciones naturales que presenta la subcuenca de los ríos Pansiguis y Cushapa en el departamento de Jalapa una zona semiárida llamada el *corredor seco*. Determinaron la cantidad disponible de agua superficial en la subcuenca, construyeron dos estaciones hidrométricas tipo vertedero rectangular, una en el río Pansiguis y otra en el río Cushapa a partir del mes de diciembre del 2006. Hicieron un análisis total de las personas que cuentan con servicio de agua potable, y el déficit de demanda, sustentados en esto identificaron un déficit en volumen y calcularon la base de producción de agua subterránea en la subcuenca, con el fin de determinar acciones para ejecutar la construcción de pozos.

Es importante desarrollar medidas para regular el uso incrementado del agua subterránea como consecuencia del crecimiento de la población y las sequías vinculadas al cambio climático, como ejemplo a esto, se presenta la aplicación de tarifas para el uso del agua subterránea en el gobierno de Zambia, África (Kaunda, 2018). Para esto la Water Resource Management administrada por el gobierno ordeno el pago de una tarifa para que los propietarios de pozos domésticos tengan una licencia, una tarifa comercial a los que consumen más de 10.000 litros/día y a los que no tienen registro una multa, debido a que el 60-70 % del agua que se consume en Zambia proviene del agua subterránea; Con el fin de monitorear esta acción instalaron dispositivos para medir el consumo de agua y la contaminación de los pozos. Entre otra de sus medidas es la utilización de pozos comunitarios en vez de individuales. La aplicación de esta medida mejoraría la conservación del agua, regular la construcción de nuevos pozos y también recaudar fondos para la administración de Water Resource.



2.3 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentará de manera general los aspectos relacionados con el agua subterránea.

2.3.1 Ciclo hidrológico

Es el mecanismo global que hace posible la transferencia de agua desde los océanos a la superficie y desde la superficie, o subsuperficie al subsuelo y a la atmósfera que envuelve nuestro planeta. Las principales variables naturales de los procesos del ciclo hidrológico son: precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración (*Imagen 4*). Las actividades humanas (Asentamientos, industria y desarrollos agrícolas) pueden alterar los componentes del ciclo natural mediante afectaciones del uso del suelo y a través de la utilización, reutilización y vertido de residuos en los recorridos naturales de los recursos hídricos superficiales y subterráneos (UNESCO, 2006).

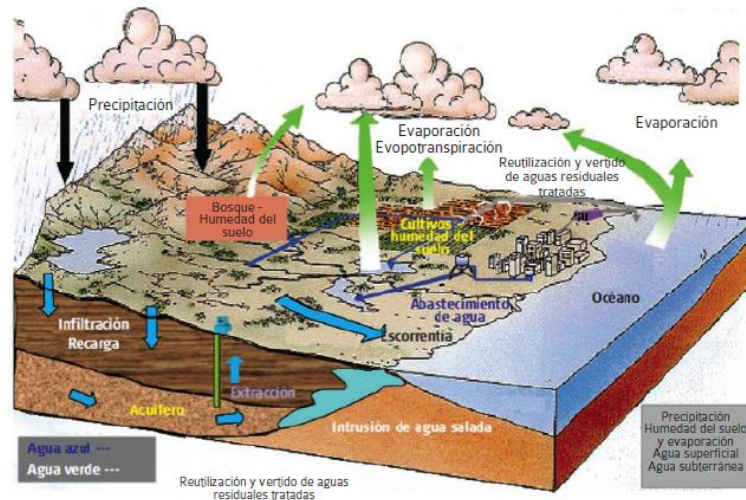


Imagen 4. Ciclo hidrológico. Fuente: UNESCO, 2006

2.3.2 Modelo hidrogeológico conceptual

El Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) integra la información geológica, hidrológica, hidrodinámica, hidráulica, hidroquímica e isotópica para ilustrar los procesos y flujos de carácter regional, intermedio y local que deben ser considerados para entender dinámicas ecosistémicas al formular medidas de protección, manejo y adaptación. El MHC es dinámico



en la medida en que se actualice la información de las variables hidrogeológicas de cantidad y calidad y las estadísticas de extracción y recarga (natural e inducida) a partir de un monitoreo permanente y sistemático que dé cuenta de la dinámica e interrelaciones con el medio físico, pero el estudio del comportamiento y la dinámica de las aguas subterráneas no concluyen con el Modelo Hidrogeológico Conceptual. De hecho, el MHC constituye un insumo para el empleo de herramientas numéricas que permitan validar el MHC y comprender a mayor detalle las aguas subterráneas (SIRH, 2014).

2.3.3 Provincias hidrogeológicas

Las provincias hidrogeológicas corresponden a unidades mayores referidas a escalas menores (entre 1:10.000.000 y 1:500.000), definidas con base en unidades tectonoestratigráficas separadas entre sí por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores y que, desde el punto de vista hidrogeológico, corresponden a barreras impermeables representadas por fallas regionales y altos estructurales (IDEAM, 2013).

2.3.4 Acuífero

Unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua, entendida como el sistema que involucra las zonas de recarga tránsito y descarga, así como sus interacciones con otras unidades similares, aguas superficiales y marinas (Ministerio de vivienda y desarrollo sostenible, 2012).

De acuerdo con la estructura geológica de los materiales que los forman y las condiciones hidráulicas del agua que contienen, los acuíferos se clasifican en (SIRH, 2014):

- **Acuíferos libres, no confinados o freáticos:** Se caracterizan porque el límite superior de la masa de agua está en contacto con el aire de la zona no saturada y cuando se perfora el pozo, el nivel que marca es el nivel freático o nivel piezométrico; en la superficie del pozo, la presión es la atmosférica (*Imagen 5*).
- **Acuíferos confinados, artesianos, cautivos o a presión:** Todo el espesor del acuífero está saturado de agua y los límites son de material impermeables, cuando se perfora



el pozo el nivel que se marca es el nivel piezométrico del acuífero en ese punto. La presión en los poros o fisuras es mayor que la presión atmosférica.

- **Acuíferos semiconfinados o semicautivos:** Se caracteriza porque el material que encierra estos acuíferos no es totalmente impermeable, ya que permite filtración vertical del agua para alimentar un acuífero principal.

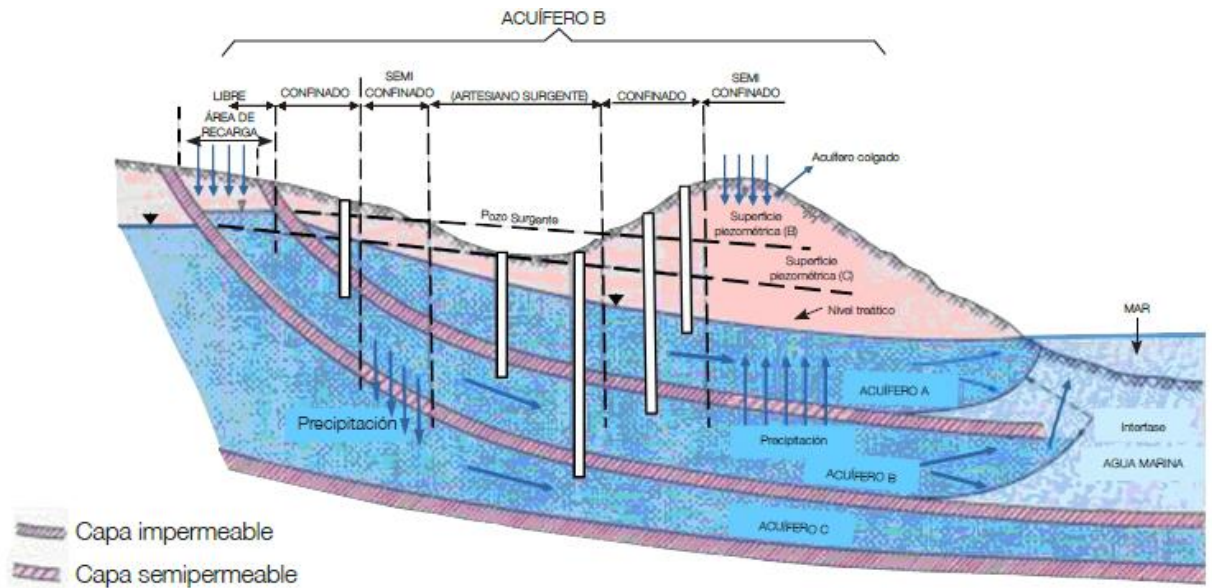


Imagen 5. Acuíferos libres, confinados y semiconfinados. Fuente: (IDEAM, 2013)

2.3.5 Agua subterránea

El agua subterránea es aquella que se filtra a través del suelo, saturando las capas arenosas o rocas porosas subyacentes. La tabla de agua o nivel freático, en el caso de acuíferos libres, marca la posición bajo la cual todos los poros o grietas están saturados con agua.

Las masas de agua subterránea acumuladas en acuíferos suelen moverse muy despacio, hasta el punto que, desde el momento en que se infiltran hasta la fecha en que, más abajo, afloran nuevamente en superficie, pueden transcurrir miles de años. Ello significa que hay depósitos subterráneos que han necesitado centenares de siglos para formarse. Por tanto, no deben en general agotarse por un uso abusivo o desordenado en un corto tiempo, sin fuertes razones que lo justifiquen. También han de cuidarse con especial atención esos depósitos



subterráneos para no deteriorar la calidad de las aguas que contienen, contaminándolas de forma irreversible.

En la naturaleza, las aguas subterráneas son responsables de muchos procesos geológicos y geoquímicos y sostén de varias funciones y servicios ecológicos. Las aguas subterráneas deben integrarse en la dimensión económica, social y ambiental de los recursos hídricos. Muchas personas dependen de las aguas subterráneas como suministro de agua potable y para garantizar la seguridad alimentaria y la vida sustentable. Las aguas subterráneas también pueden tomarse en cuenta como una fuente segura de agua para beber en regiones áridas y semiáridas, así como en islas pequeñas e incluso en situaciones de emergencia (UNESCO, 2014).

Las formas más comunes de extracción del agua subterránea son:

- **Pozos:** Agujero o perforación que se excava o perfora en la tierra para extraer agua. Generalmente, es de gran profundidad y diámetro pequeño (OMM, 2012).
- **Aljibes:** Excavación manual de gran diámetro, que alcanza la tabla de agua o nivel freático y se profundiza por debajo de esta para acumular agua subterránea que está disponible para ser bombeada (IDEAM, 2015C).

2.3.6 Qué es el manejo de aguas subterráneas

Consisten en abordar estrategias para el manejo integrado del recurso, recarga de los acuíferos, el uso del agua, así como concientizar sobre la importancia, mantener la cantidad de agua subterránea y proteger la calidad de estas con una buena gestión.

2.3.7 DOFA

La matriz DOFA es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, empresa, etc., que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado del tiempo. El objetivo primario del análisis DOFA consiste en obtener conclusiones sobre la forma en que el objeto estudiado será capaz de afrontar los cambios y



las turbulencias en el contexto, (oportunidades y amenazas) a partir de sus fortalezas y debilidades internas (Foda, s.f.).

Para comenzar un análisis DOFA se debe hacer una distinción crucial entre las cuatro variables por separado y determinar qué elementos corresponden a cada una.

Tanto las fortalezas como las debilidades son internas de la organización, por lo que es posible actuar directamente sobre ellas. En cambio las oportunidades y las amenazas son externas, y solo se puede tener injerencia sobre las ellas modificando los aspectos internos.

- **Fortalezas:** son las capacidades especiales con que cuenta la empresa, y que le permite tener una posición privilegiada frente a la competencia. Recursos que se controlan, capacidades y habilidades que se poseen, actividades que se desarrollan positivamente, etc.
- **Oportunidades:** son aquellos factores que resultan positivos, favorables, explotables, que se deben descubrir en el entorno en el que actúa la empresa, y que permiten obtener ventajas competitivas.
- **Debilidades:** son aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente a la competencia, recursos de los que se carece, habilidades que no se poseen, actividades que no se desarrollan positivamente, etc.
- **Amenazas:** son aquellas situaciones que provienen del entorno y que pueden llegar a atender incluso contra la permanencia de la organización (Foda, s.f.).



Grafica 3. Esquema simplificado de una matriz DOFA.



2.3.8 Índice de infraestructura de sostenibilidad de las aguas subterráneas (GSII)

El marco se basa en la conceptualización de la sostenibilidad de Valentín y Spangenberg (2000) que aborda dimensiones sociales, ambientales, económicas e institucionales. En el proceso de evaluación de los medios para lograr la sostenibilidad de las aguas subterráneas, esto se traduce en el análisis de las siguientes categorías generales utilizadas como componentes del GSII: participación pública (PPP) para la dimensión social; el monitoreo de aguas subterráneas (GwM) para el medio ambiente; intervenciones reguladoras (ReI) para el desarrollo económico; y la responsabilidad institucional (InR) para las dimensiones institucionales. Además, el GSII incluye un componente sobre la generación y difusión del conocimiento (KgD). Se supone que todos estos componentes son universalmente aplicables y se espera que abarquen la mayoría de los medios (de lograr la sostenibilidad del agua subterránea) como indicadores de los componentes (Pandey, Shrestha, Chapagain, & Kazama, 2011).

Tabla 1. Componentes e indicadores del índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea. Fuente: Pandey, Shrestha, Chapagain, & Kazama, (2011)

Índice	Componente	Indicadores	Descripción
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII	1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	1.1 Nivel del agua subterránea	GwM permite una comprensión a largo plazo de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea.
		1.2 Extracción del agua subterránea	
		1.3 Calidad del agua subterránea	
		1.4 Subsistencia de la tierra	
	2. Generación y difusión de conocimiento (KgD)	2.1 Generación de conocimiento	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	
		2.3 Disposición para KID	
	3. Inversiones reglamentarias (Rel)	3.1 Derechos de agua subterránea	Rel tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad a través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.
		3.2 Licencia de agua subterránea	
		3.3 Instrumentos económicos	
	4. Participación pública (PuP)	4.1 Conciencia	Pup ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)
		4.2 Interés por participar	
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	
	5. Responsabilidad institucional (InR)	5.1 Disponibilidad de autoridad	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea
		5.2 Marco legal	
5.3 Capacidad institucional			
"CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID" es conocimiento integración y esparcimiento			



2.4 MARCO LEGAL

A continuación se presentan las principales normas vigentes en Colombia relacionadas con la gestión del recurso hídrico subterráneo, compiladas en el Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible 1076 de 2015.

- Decreto ley 2811 de 1974, código nacional de recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente. Regula su protección y aprovechamiento.
- Decreto 1541 de 1978, por la cual se reglamenta la parte III del libro II del decreto ley 2811 de 1974. De las aguas no marítimas. Regula las concesiones, exploración, aprovechamiento, preservación y control de las aguas subterráneas.
- DECRETO 3930 DE 2010, Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Y el Decreto 1594 de 1984 art 20 y 21.
- Ley 99 de 1993, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- LEY 142 DE 1994, Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Modificada parcialmente por la ley 689 DE 2001.
- LEY 373 DE 1997, Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Modificada por la Ley 812 de 2003, publicada en el Diario Oficial No. 45.231, de 27 de junio de 2003, "Por la cual se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006, hacia un Estado comunitario"
- LEY 388 DE 1997, Reglamentada por los Decretos Nacionales 150 y 507 de 1999; 932 y 1337 de 2002; 975 y 1788 de 2004; 973 de 2005; 3600 de 2007; 4065 de 2008; 2190 de 2009; Reglamentada parcialmente por el Decreto Nacional 1160 de 2010.



Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones

- Decreto Nacional 1575 de 2007, en su artículo 35 derogó el decreto 475 de 1998.
- RESOLUCIÓN 330 DE 2017, Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009 por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.
- DECRETO 1729 DE 2002, "Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones"
- Resolución 0769 de 2002, Por la cual se dictan disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos.
- DECRETO 2667 DE 2012, por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.
- DECRETO 155 DE 2004, "Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones".
- RESOLUCIÓN 240 DE 2004, Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas
- DECRETO 4742 DE 2005, por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.
- RESOLUCIÓN 872 DE 2006, Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.
- DECRETO 1323 DE 2007, por el cual se crea el sistema de información de los recursos hídricos SIRH.
- DECRETO 1324 DE 2007, "Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones".



Teniendo en cuenta las leyes y decretos sobre el recurso hídrico subterráneo, se resalta el Decreto 1541 de 1978 que se regula las concesiones y exploraciones de agua subterránea; a pesar de existir dicha normatividad su aplicabilidad es muy baja, debido entre otras razones, a la cantidad y rigurosidad de requisitos que generan en los usuarios que quieran acceder a dichas concesiones o exploraciones una serie de costos por servicio de evaluación, costos de inversión y operación, que al ser dispendiosos las personas optan por no solicitar los permisos a la entidad directora, dando como resultado la existencia de puntos de aguas subterráneas activos de forma ilegal, quedando por fuera del inventario oficial de los puntos activos de aguas subterráneas realizado por las corporaciones autónomas regionales.

2.5 MARCO INSTITUCIONAL

- **Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible(MADS)**

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores (MinAmbiente, 2018).

- **Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH)**

Esta política fue proyectada como el instrumento direccionador de la gestión integral del recurso, incluyendo las aguas subterráneas, establece los objetivos y estrategias del país para el uso y aprovechamiento eficiente del agua; el manejo del recurso por parte de autoridades y usuarios; los objetivos para la prevención de la contaminación hídrica, considerando la armonización de los aspectos sociales, económicos y ambientales; y el desarrollo de los respectivos instrumentos económicos y normativos (Minambiente, 2014).



La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico tiene un horizonte de 12 años (2010-2022) y para su desarrollo se establece ocho principios y seis objetivos específicos. Se presentan los objetivos específicos:

- ✚ Objetivo 1. OFERTA: Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
- ✚ Objetivo 2. DEMANDA: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.
- ✚ Objetivo 3. CALIDAD: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
- ✚ Objetivo 4. RIESGO: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.
- ✚ Objetivo 5. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL: Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.
- ✚ Objetivo 6. GOBERNABILIDAD: Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.

- **Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB)**

Es iniciado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en conjunto con un comité técnico conformado por Ministerios, Corporaciones y Universidades. Este programa se constituye en un instrumento de articulación interinstitucional que busca apoyar el diseño y la promoción de las estrategias del nivel nacional y regional que garanticen una adecuada evaluación y gestión del agua subterránea en Colombia en el marco de la PNGIRH (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014B).



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el estado del uso y manejo del agua subterránea en la región Caribe Colombiana siguiendo la metodología DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) complementada con el índice de GSII (índice de infraestructura de sostenibilidad de las aguas subterráneas), que sirva como una herramienta o soporte en la planificación, gestión integral, toma de decisiones y trabajos investigativos futuros referentes a este recurso.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los avances técnicos y científicos que se han implementado en la región Caribe alrededor del uso del agua subterránea.
- Identificar estrategias, novedades y/o acciones que se estén realizando alrededor del mundo acerca del uso del agua subterránea aplicables a la región Caribe y al país.
- Realizar diagnóstico general sobre el uso y manejo del agua subterránea en la región Caribe.
- Definir indicadores sociales y ambientales más representativos que permitan entender el uso del agua subterránea en la región Caribe.
- Estimar el índice de sostenibilidad del agua subterránea de la región Caribe.



4. ALCANCE

Este proyecto se llevará a cabo en la región Caribe que se localiza al norte de Colombia, principalmente los departamentos de la Guajira, Magdalena, Bolívar, Cesar, Sucre y el Norte de Córdoba como se ve en la *Imagen 6*.



Imagen 6. Delimitación geográfica. Fuente: Google Earth, modificado por autores

De los departamentos mencionados anteriormente se han identificado los siguientes sistemas acuíferos de la Alta y Media Guajira, Ranchería, Santa Marta, Turbaco, Ariguaní, Cesar, Morroa (Sucre), véase Sistema acuíferos en la *Imagen 7*.

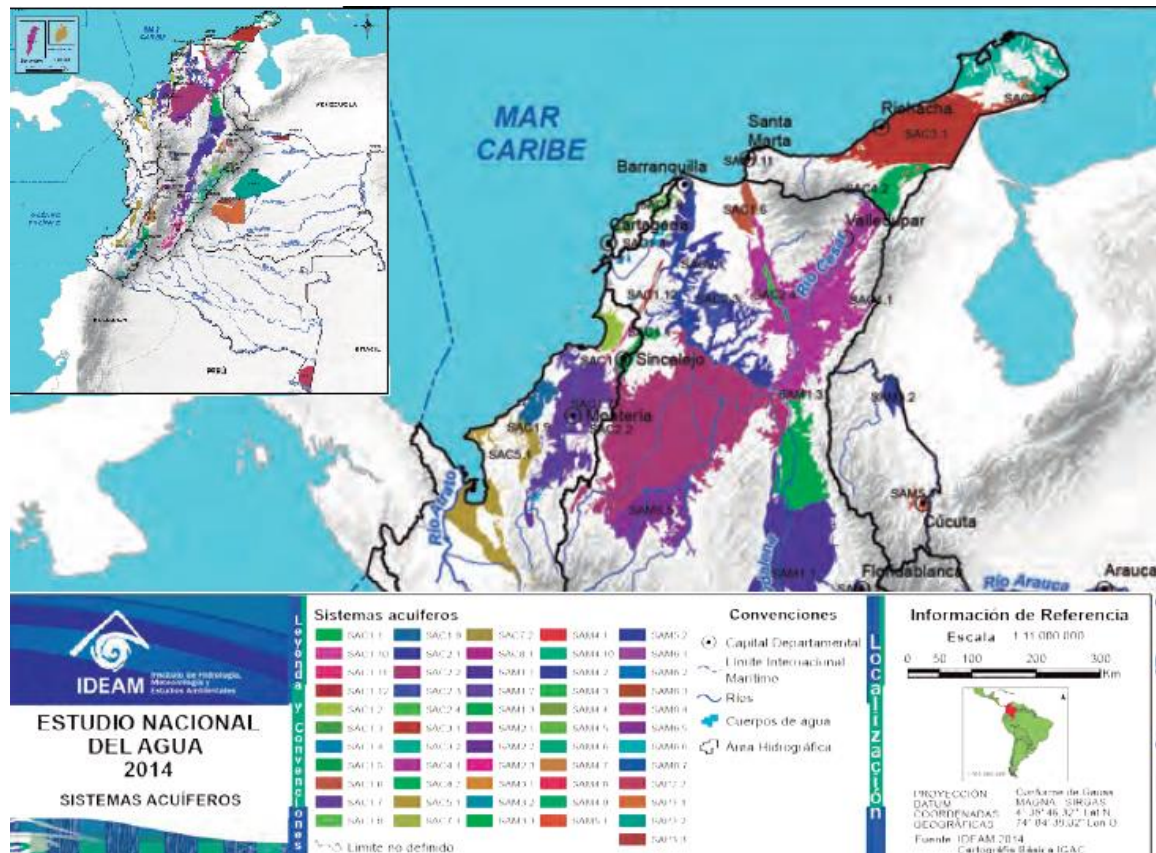


Imagen 7. Sistema de acuíferos. Fuente:(IDEAM, 2015)

La investigación se desarrollará en el primer periodo del 2018 entre los meses de Febrero y Junio. Mediante las visitas a los departamentos de la Guajira, Magdalena, Bolívar, Cesar, Sucre y el Norte de Córdoba donde se llevará a cabo la recopilación de la información proveniente de las autoridades ambientales y universidades que hayan trabajado con este recurso hídrico subterráneo y si es necesario para complementar alguna información se realizarán entrevistas con los sujetos pertinentes (ya sea personas naturales o jurídicas).

Las variables a estudiar en este proyecto serán el nivel de estudio en el tratamiento de las aguas subterráneas, estimando el estado de la conciencia pública sobre la situación / problemas del agua subterránea, su interés en participar y la disponibilidad de la práctica, los aspectos físico-naturales de la zona, la forma de extracción del agua (artesanal, mecánica), la forma del uso del agua (agrícola, industrial, consumo humano, doméstico y otros si los hay), las debilidades del sistema nacional en cuanto al manejo de este recurso, factores que influyen



en el uso del agua subterránea, las oportunidades que puede generar el potencial que tiene el uso del agua subterránea y cómo influye el cambio climático en las prácticas e investigaciones de este valioso recurso.

Con este proyecto se busca conocer y presentar el estado actual del uso y manejo del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana, mediante la identificación de las fortalezas y oportunidades que presenta la región así como sus debilidades. Cuantificando este resultado por medio del índice de sostenibilidad.

Para realizar el índice de sostenibilidad, en el caso del indicador de ponderación se le dará el peso a las variables de acuerdo al criterio de los expertos a consultar y para el indicador de monitoreo de aguas subterráneas (GWM), los datos se obtendrán mediante las entidades ambientales.

Se estima que el comportamiento social, y ubicación geográfica jueguen un papel fundamental a la hora de influir acerca del uso de las aguas subterráneas en la región así como la falta de información acerca de este recurso.

Al final del trabajo de grado se obtendrá un documento, con gráficos en los que se resume, se contraste y se interprete la información analizada, que sirva para investigaciones futuras relacionadas con el tema, además como una herramienta para la planificación, gestión integral y toma de decisiones adecuadas acerca de este recurso.

Teniendo en cuenta el producto de esta investigación, se espera que a nivel de posgrado se pueda nutrir este trabajo ya sea con ensayos y toma de muestras para la calidad del agua etc., para integrar la forma de uso con la calidad del agua. Y también es conveniente realizar estos proyectos a lo largo de las regiones del país.

Este proyecto de investigación se limita a trabajar con base en la información suministrada por las Corporaciones, universidades y entrevistados (si se presentan); para así proponer un índice de sostenibilidad de los acuíferos de la región Caribe. A nivel de pregrado no se



realizará análisis hidrogeológico, ensayos de calidad del agua, ni perforaciones pues quedan fuera de alcance.

La información encontrada y depurada se contrastará con la normatividad Colombiana vigente ambiental referentes a vertimientos y explotación de las A. S. para así establecer la relación entre la normativa y las prácticas reales.



5. METODOLOGÍA

El proyecto es clasificado como una investigación con una fase bibliográfica, descriptiva y explicativa y otra fase analítica, la primera fase, bibliográfica, consistió en la recolección de la información con relación al proyecto, y la segunda fase correspondió al análisis de la información recopilada a través de la metodología DOFA, donde se obtuvo los productos como por ejemplo un informe del estado del agua subterránea, un documento que contiene el Índice de sostenibilidad del A.S de la región Caribe Colombiana de 0,41, que no había sido hallado anteriormente para esta región.

Para llevar a cabo los objetivos del proyecto se realizaron las siguientes actividades (*Gráfica 4*):

- I. Caracterización de la Zona de Estudio.
- II. Codificación de la información.
- III. Evaluación del uso y manejo del agua subterránea.



Gráfica 4. Esquematización de la metodología



5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En esta fase se realizó una consulta de la información referente a los aspectos físicos y sociales alrededor del agua subterránea de cada departamento seleccionado, lo cual se obtuvo mediante medios virtuales como son las páginas web e información suministrada por las CAR de los departamentos de la región caribe.

5.1.1 Descripción del medio físico: Para desarrollar este ítem sobre el aspecto físico de la zona, se consultó de forma virtual con la frase “Clima de la Región Caribe” y en la página web del IDEAM, también para el conocimiento de la geología e hidrología subterránea del sitio la información se obtuvo de los informes y estudios que han realizado las Corporaciones Ambientales de cada departamento.

5.1.2 Descripción de aspectos-socioeconómicos: se describieron las principales actividades económicas desarrolladas por la población que se vinculan o impactan el recurso hídrico subterráneo; de igual manera se incluyó el uso de los suelos y por último se describió el sistema de abastecimiento de la población a partir de los informes en medio magnético suministrado por las CARs.

5.1.3 Identificación de los actores involucrados: Se reconocieron los actores principales que intervienen en la gestión, control y protección de las aguas subterráneas como son las entidades gubernamentales y corporaciones autónomas, y los actores benéficos o quienes hace uso del recurso que son los habitantes, usuarios individuales en cada zona de estudio.

5.2 RECOLECCIÓN U OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En esta fase para la recolección de la información, se realizaron los trámites y formalidades requeridas para la solicitud y obtención de la información proveniente de las Corporaciones Autónomas Regionales y Universidades de cada lugar de estudio, a través de visitas y correos electrónicos. La información solicitada fue la siguiente: investigaciones sobre el agua subterránea, características hidrogeológicas de la zona con potencial de acuíferos, las formas de extracción del recurso y la normatividad de uso sobre este. Por otra parte, también se



consultaron base de datos como Ebsco, Revista Scielo, Revista Research Gate, en las cuales se buscó con las palabras claves gestión del agua subterránea, agua subterránea, protección del agua subterránea, oferta y uso del agua subterránea.

Tabla 2. Ficha nemotécnica para la recolección de la información.

Búsquedas				
Título del documento	Descripción	Autor	Año	Fuente

Fuente: Autores

5.2.1 Descripción de los avances técnicos y científicos: Con la información secundaria proveniente de las CAR en el manejo del agua subterránea se determinó qué tecnologías se están desarrollando alrededor de este recurso y se comparó con las técnicas aplicadas en otros países.

Para la información recolectada a través de los medios virtuales se tuvo en cuenta un criterio de búsqueda y palabras claves como: novedosos estudios de agua subterránea, el agua subterránea en el mundo, avances sobre el agua subterránea, avances técnicos en el agua subterránea.

5.3 EVALUACIÓN Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En este capítulo se estudiaron las formas de explotación, apropiación y uso del agua subterránea por la población en la zona de estudio. Para esto, se realizaron entrevistas a profesionales calificados o claves, es decir, aquellas personas que tienen información válida y relevante, así como sus conocimientos o experiencias sobre el manejo del recurso hídrico subterráneo. Obtenido lo anterior, se pudo desarrollar los patrones de uso de este recurso en la región de estudio. Esta evaluación se representó gráficamente para mostrar la síntesis de la información consultada en el proyecto, los gráficos utilizados fueron diagrama de torta, diagrama de barras efectuadas a través de la herramienta Excel, en los cuales se plasmó cada



región con los patrones encontrados y la relación entre cantidad de recursos disponibles y los usados.

5.4 ANÁLISIS DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Luego de la evaluación que se tuvo como base se realizó el análisis de toda la información cualitativa y cuantitativa conseguida en la investigación correspondiente al recurso hídrico subterráneo y su entorno por medio de:

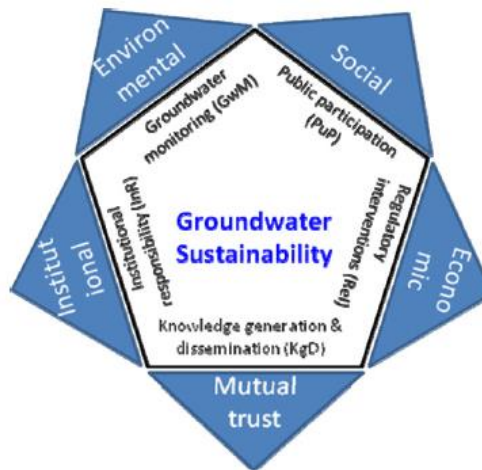
5.4.1 Análisis DOFA sobre el uso y manejo del agua subterránea: Aplicando la metodología DOFA a la información recolectada, se logró determinar los puntos fuertes y débiles del manejo del recurso hídrico subterráneo en la Región Caribe, así como la identificación de las oportunidades que son aprovechables, como lo son tendencias investigativas, las debilidades que deben superarse y las amenazas a las que está expuesto como lo es el cambio climático.

5.4.2 Aplicación del índice de GSII: Para tener una mejor idea del estado actual del agua subterránea en la región Caribe se aplicó y calculó por primera vez en la región, el índice de sostenibilidad del agua subterránea propuesto por Pandey *et al.* (2011), para la evaluación y el monitoreo de la gestión del agua subterránea, teniendo en cuenta aspectos naturales y sociales y sus interrelaciones, y se utilizaron variables cualitativas y cuantitativas para la construcción de los indicadores, algunos indicadores fueron utilizados y otros no de acuerdo a los criterios de las personas expertas evaluadas como se explica a continuación.

El índice está formado por cinco componentes, los que se desagregaron en 16 indicadores que al final de la investigación terminaron siendo 14 por sugerencia de los expertos entrevistados. Se plasmó la información encontrada siguiendo la siguiente metodología: El marco de GSII se desarrolló siguiendo la mayoría de los pasos propuestos por Nardo señalados en Pandey *et al.* (2011), para el desarrollo de índices compuestos, y abarcó los siguientes pasos.



- i. Construcción del marco teórico: El índice contó con los siguientes componentes: Participación pública (PPP) para la dimensión social; El monitoreo de aguas subterráneas (GwM) para el medio ambiente; Intervenciones reguladoras (ReI) para el desarrollo económico; y la responsabilidad institucional (InR) para las dimensiones institucionales. Además, el GSII incluyó un componente sobre la generación y difusión del conocimiento (KgD). Se supuso que todos estos componentes son universalmente aplicables y se quiso abarcar la mayoría de los medios (de lograr la sostenibilidad del agua subterránea) como indicadores de los componentes (*Grafica 5*).



Grafica 5. Los cinco índices de sostenibilidad. Fuente: (Pandey, Shrestha, Chapagain, & Kazama, 2011)

- ii. Selección del indicador: Para esto a medida que se realizaron las reuniones con los expertos, estos consideraban fuera de lugar algunos indicadores, por lo tanto de los 16 indicadores se terminaron con 14 aplicables a la región de estudio.
- iii. Cálculo de valores de los indicadores y normalización: La situación de cada indicador en términos de logro de la sostenibilidad del agua subterránea se clasificó en cinco clases en una escala de 0-1: muy pobre (0,00), pobre (0,25), aceptable (0,50), bueno (0,75) y excelente (1,0). Los valores de los puntajes fueron apoyados por un cuadro que plasma como está cada departamento que conforma la región de estudio respecto



al indicador evaluado, teniendo como base toda la información recolectada en la investigación.

- iv. Ponderación: para evitar sesgos en las medidas se le asignó un peso igual a cada indicador, es decir todos están en las mismas condiciones, este para facilidad de cálculos fue de 1.
- v. Agregación: El valor de cada componente (X_i : asignado por los expertos) se multiplicó por el peso atribuido (w_i : 1 como lo indica el índice anterior), para dar un valor en una escala de 0-1, siendo 0 el peor y 1 el mejor. La puntuación de los cinco componentes se determinó de manera similar, es decir, multiplicando el valor del indicador (X_i), con el peso atribuido (w_i).

$$GSI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \dots (1)$$

- vi. Aplicación: El índice se aplicó para evaluar la situación de la "sostenibilidad de las aguas subterráneas" en la región Caribe Colombiana.
- vii. Visualización y difusión, en este paso consientes de los resultados hallados del índice, se procede a difundir lo encontrado.
- viii. Calculado el índice, se tomó la opinión de otros expertos, para poder saber cuál de estos indicadores tiene mayor peso sobre la sostenibilidad del recurso.
- ix. Se hizo un análisis cualitativo entre los puntos críticos obtenidos en el índice de la región y el grado de afectación que tienen en la sostenibilidad de acuerdo a los expertos.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

A continuación se presentan los resultados de la revisión bibliográfica más relevante para el desarrollo de las descripciones físicas, los avances técnicos y estado del arte, como también las investigaciones en otros países alrededor de la temática del uso del agua subterránea *Tabla 3*.

Tabla 3. Resumen de los documentos más relevantes utilizados como referencia en el uso y manejo del agua subterránea.

Título del documento	Descripción	Autor	Año	Fuente
Estudio hidrogeológico del acuífero Morroa	Desarrollaron un plan de manejo de aguas subterráneas (PMAS) con el fin de garantizar la sostenibilidad de la oferta del A.S. en calidad y cantidad para distintas actividades y prevenir la degradación del recurso.	CARSUCRE	2003	CARSUCRE
Evaluación del potencial del agua subterránea en los municipios de Curumani, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Gamarra, Aguachica, Rio de Oro, San Martin y San Alberto	Exponen el avance del modelo hidrogeológico con el que evaluaron la oferta natural ambiental para así formular un plan de manejo y protección integral de los sistemas acuíferos correspondiente a gestión del uso, manejo y aprovechamiento de los recursos del Departamento del Cesar.	Corpoce-sar, Ideam	2009	CORPOCESAR
Modelo hidrogeológico y sistema de información en la cuenca del río Ranchería	Presentan el desarrollo del modelo hidrogeológico en el que exponen las generalidades de la cuenca, los puntos de agua y la formulación de un plan de manejo ambiental de acuíferos.	Corpoguajira, Universidad de Antioquia	2011	CORPOGU AJIRA
Estudio hidrogeológico del acuífero de Palenque	Con este estudio se identificaron áreas con potencial de exploración para ubicar un pozo que abastezca de agua a la población de San Basilio de Palenque.	Cardique, Eointegral-Ltda	2006	CARDIQUE E
¿Qué hacer con el agua subterránea?	Exponen las estrategias que se están realizando en ciertos países para la evaluación y gestión del agua subterránea.	Hatch Kuri, G; Carrillo Rivera	2017	Nexos



Hidrología isotópica, herramienta nuclear para la gestión sostenible del recurso hídrico	Desarrollan la técnica de Hidrología Isotópica como mecanismo para planificar sobre la gestión de un acuífero y la protección del agua subterránea.	Peralta j; Castillo R; Dapeña C; Valdez L; Olivera J; Morejón Y	2015	Scielo
Ley de agua subterránea: Una propuesta	Consiste en el diseño más completo de un marco regulatorio de la gestión institucional del agua subterránea de acuerdo a varias investigaciones científicas efectuadas en el mundo y en México.	Carmona Carmen, Carrillo José, Hatch Gonzalo, Huizar Rafael, Ortega Marcos	2017	Research Gate



6.2 DESCRIPCIÓN DE AVANCES TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS

De la información recopilada buscada en cars, universidades, revistas y vía web se encuentra que de los distintos departamentos que comprenden la región Caribe Colombiana, las técnicas más comunes o utilizadas por el sector público y privado para la exploración, investigación y conocimiento de la presencia de agua subterránea son los Sondeos Electromagnéticos Verticales (SEV) o también llamado como Prospección Geoeléctrica, con el fin de reconocer las unidades geológicas que forman a los acuíferos, la técnica consiste en la distribución de resistividades en el subsuelo en los sitios de interés hidrogeológico y ambiental, para así calcular la resistividad aparente del suelo y su variación con la profundidad. Para la identificación del caudal y/o parámetros hidráulicos del acuífero, se realizan pruebas de bombeo con el que monitorean la evolución del descenso de los niveles dinámicos y luego detienen el bombeo para monitorear los ascensos de los niveles dinámicos.

En cuanto al conocimiento de la calidad del agua subterránea se emplean técnicas como la conductividad eléctrica (CE) con el que se indican los contenidos de sales disueltas en el agua y así clasificar el agua como dulce, salobre o salada; técnicas analíticas mediante el análisis de muestras de agua subterránea para clasificar su calidad química.

En el caso particular del acuífero Arroyo Grande en el Departamento de Bolívar en su estudio utilizaron técnicas isotópicas para conocer el comportamiento del agua subterránea en cuanto a recarga, descarga, velocidad, dirección de flujo y edad, basados en el análisis de isótopos estables realizados en el estudio de INGEOMINAS (1985) y por los análisis de isótopos inestables, realizados por el Instituto de Energía Nuclear de Viena para este estudio (Hidrogeólogos Asociados Ltda & CARDIQUE, 1998). Así como el caso del Acuífero de Morroa en el Departamento de Sucre al que se le aplicó ese método de estudio.

Por su parte mientras que en la región Caribe Colombiana se practican las técnicas descritas anteriormente, existen técnicas nucleares como la hidrología isotópica son herramientas muy actuales y constituyen métodos adecuados para obtener modelos conceptuales fenomenológicos, esta hace uso de los isótopos del agua (^3H ; ^{18}O , ^2H) usándolos como



trazadores naturales y haciendo además parte de la hidroquímica, al proveer información sobre la distribución de los elementos y su evolución espacial y temporal en sistemas hídricos, ayuda a caracterizar los acuíferos y definir los problemas ambientales y plan de remediación. Esta técnica fue utilizada para caracterizar el acuífero Kárstico en Cuba (Peralta, y otros, 2015), también se evidencia la aplicación de esta técnica para el conocimiento de la recarga de los acuíferos en el sector de Serrano y Pedemontano en Córdoba, Argentina (Blasarin, Degiovanni, & Frontera, 2014).

Desde el punto de avances científicos, se encuentra que la Región Caribe en general no está desarrollando investigaciones de forma general referente a este recurso hídrico subterráneo puede que se estén haciendo investigaciones, pero, de forma puntual y aisladas en ciertas instituciones, sea el caso del grupo de investigación Modelación Ambiental (GIMA) de la Universidad de Cartagena que está realizando un proyecto sobre “Fortalecimiento de la resiliencia de acuíferos costeros y la utilización de las aguas subterráneas para enfrentar los efectos del cambio climático en la costa Caribe Colombiana” Liderado por la Universidad de Ryerson de Canadá.

Además se encuentra que no hay una compaginación de conocimientos del agua subterránea en las instituciones superiores con el fin de que estas se interesen por investigar sobre el recurso, la información impartida son básicas y someras; cabe resaltar que no se tiene conocimiento que exista una especialización en el área de aguas subterráneas en el país, son pocos los profesionales que se dedican al tema y presentan interés por este, lo más cercano es el área de la hidrogeología.

Lo anteriormente descrito deja a la Región Caribe Colombiana como una zona de retraso en cuanto a avances científicos, colocando así un foco de atención sobre la región para promover el uso de técnicas y estudios más especializados y sobre todo actuales.



6.3 NOVEDADES Y/O ACCIONES EN EL MUNDO ACERCA DEL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Dentro de las acciones que se están realizando en el mundo, se identifica la “gobernanza del agua subterránea”, el Banco Mundial y otras instituciones en 2012 para impulsar esta acción efectuaron un proceso de consulta global para identificar el rol estratégico del agua subterránea. Así mismo países como Australia, Canadá, China, Estados Unidos, Holanda, Hungría, Japón y Reino Unido tienen una política hídrica basada en el conocimiento del flujo del agua subterránea o movimiento lateral hidráulico (El movimiento lateral hidráulico en el subsuelo en tres dimensiones o flujos: local, intermedio y regional), es decir, los puntos de recarga, tránsito y descarga. En esas naciones la gestión incluye el monitoreo permanente de su calidad, cantidad, y la prevención y/o mitigación de las consecuencias negativas de su extracción irracional, tales como el hundimiento de la tierra, la intrusión de agua salina, la contaminación y su rápida disminución en los pozos. Destaca también California, que en 2015 aprobó la Ley de Gestión Sustentable del Agua Subterránea para combatir la sequía sostenida que padeció en el último quinquenio (Hatch Kuri & Carrillo Rivera , 2017).

Asia contiene alrededor de un tercio de la tierra del mundo irrigada por las aguas subterráneas, siendo la India, China y Pakistán los mayores consumidores. Solo el sur de Asia representa la mitad del agua subterránea utilizada en el mundo. Esta se encuentra dentro de las regiones que sus acuíferos sufren de estrés hídrico debido al exceso de bombeo de las aguas subterráneas, esto ya está ocasionando el socavamiento del suelo, haciendo que algunas ciudades se hundan, por ejemplo, partes de Pekín se están hundiendo varios centímetros al año, según algunas estimaciones (Siddiqi, 2017).

Para contrarrestar esto, plantean establecer con precisión cuánta agua subterránea queda y cómo se está utilizando, obteniendo la información a través del Satélite de Experimentación Climática y Recuperación de Gravedad de la NASA, y mediante la aplicación de la tecnología de teledetección a las cuencas fluviales. Por otra parte mejorando los precios de las aguas subterráneas. También plantean estrategias para recuperar los acuíferos, como por ejemplo, el programa piloto en el estado de Uttar Pradesh de la India, que recoge las inundaciones en



estanques de almacenamiento, a partir de los cuales el agua se filtra a las capas freáticas. Y finalmente, mejorar la gestión de las aguas superficiales para reducir la inclinación por recurrir a las aguas subterráneas como primera opción (Siddiqi, 2017).

La acción más avanzada es la aplicación de la misión satelital Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), el cual inició desde marzo 2002 y se usa para cuantificar las variaciones interanuales del almacenamiento de agua subterránea en los principales acuíferos del mundo. Con el que se revelaron agotamientos significativos de los acuíferos en regiones grandes como África del Norte, Medio Oriente, India, China, Australia y los EE. UU. La misión GRACE mide las pequeñas variaciones en el campo de gravedad de la tierra que están relacionados con los cambios en el almacenamiento de agua terrestre (TWS). Este método ofrece nuevas perspectivas para el monitoreo de la parte terrestre del ciclo hidrológico, incluidos los recursos de aguas subterráneas (Frappart & Ramillien, 2018).

En Canadá se ha realizado el primer mapa sobre agua subterránea en la Tierra dirigido por un grupo de investigadores de Universidad de Victoria en la Columbia Británica de Canadá, con colaboradores de la Universidad de Calgary en Canadá, la de Texas en la ciudad Estadounidense de Austin, y la de Gotinga en Alemania, en el que estimaron mediante un software un volumen total de agua subterránea de casi 23 millones de kilómetros cúbicos, de los cuales 0,35 millones de kilómetros cúbicos tienen menos de 50 años. Según el estudio, la mayor parte del agua subterránea se halla en regiones montañosas y tropicales y los depósitos más grandes están en la cuenca del Amazonas, el Congo, Indonesia y a lo largo de las fronteras occidentales de América del Norte y del Sur (Mis, 2015).

Países como México le apuestan al desarrollo de una “Ley del agua subterránea”, esta Ley tiene por objeto la protección, preservación y control de la extracción del agua subterránea, atendiendo al funcionamiento de los Sistemas de Flujo, para el cuidado del agua subterránea. Sus disposiciones son de orden público, interés social, de observancia general en toda la República Mexicana, reglamentaria del quinto y sexto párrafo del artículo 4º; los artículos 25 y 26; los párrafos tercero y quinto del artículo 27; y los artículos 28, 116 y 124 de la



Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. **Artículo 5.** En la gestión integral del agua subterránea no se permite:

I. El cambio de uso del agua y en su caso la cesión de derechos, cuando su aprovechamiento tenga un destino o un fin diferente al que se acredite en el Título de asignación o concesión correspondiente;

II. Extraer agua de los sistemas de flujos regionales para usos diferentes al de consumo humano;

III. Infiltrar agua de calidad inferior a la del sistema de flujo receptor;

IV. La conducción de agua subterránea hacia presas, trasvases u otros reservorios superficiales o subterráneos;

V. Trasladar el punto de extracción de un acuífero a otro; y

VI. Extraer agua de forma conjunta de sistemas de flujo distintos que deterioren la calidad del agua extraída y limiten el consumo de uso doméstico o consumo humano.

De acuerdo a esta Ley se puede observar que México le apunta a un uso integrado del recurso hídrico subterráneo y se acerca a países como Canadá, EE.UU que son pioneros en gestión sostenible de las aguas subterráneas. Así mismo, se distingue que desde la ley es que se puede asegurar un uso sostenible del agua subterránea, y que esa invite a todos los actores a ser parte de ella.



6.4 DIAGNÓSTICO GENERAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA REGIÓN CARIBE

6.4.1 Características del medio físico de la Región Caribe Colombiana

El clima de la Región Caribe de Colombia es en general cálido, enmarcándose dentro de la categoría de clima tropical. Sin embargo, la zona de la Sierra Nevada se califica como diferente, al igual que en el departamento de La Guajira que presenta áreas semidesérticas.

El clima principal es el tropical, con un mínimo de 25°C en sus aguas. Durante casi todo el año, las temperaturas rozan los 30°C y en época de invierno no suelen bajar de los 20°C. Sin embargo, existen excepciones a esta climatología. Por otra parte, se trata de una de las zonas más secas del país, con una media de entre 500 y 2000 mm anuales de precipitaciones.

En los meses de mayo a octubre es cuando se concentran la mayoría de los días de lluvias, con unas medias de entre 70 y 178 mm/mes. Mientras el resto de los meses solo presenta unos índices de lluvia de entre 1.0 y 25 mm/mes. Este clima es el que ha dado lugar al nacimiento de los manglares característicos de la región, al igual que la aparición de bosque seco tropical y de un bosque húmedo tropical (Montano, 2017) .

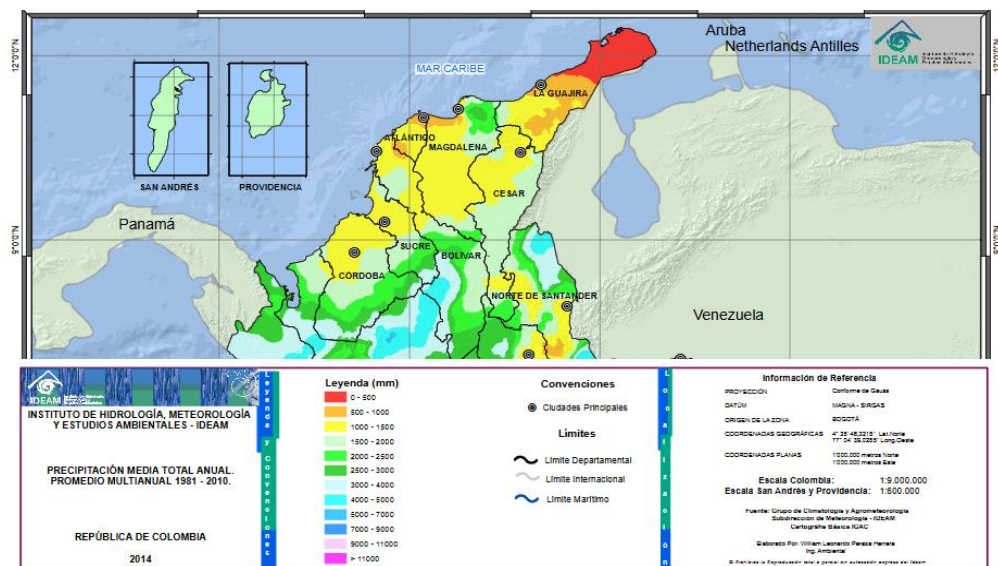


Imagen 8. Mapa de precipitación media anual de Colombia modificado. Fuente: (IDEAM, 2014)



El aspecto geológico para cada departamento difiere uno con otro, por lo tanto se hará una breve descripción de cada departamento de la región Caribe conociendo así las formaciones que contienen aguas subterráneas.

i. Departamento de Bolívar

En este se encontraron tres zonas con acuíferos que son el Municipio de Turbaco, el corregimiento de San Basilio de Palenque en el Municipio de Mahates y el corregimiento de Arroyo Grande en jurisdicción del Distrito de Cartagena.

En el Municipio de Turbaco se encuentran formaciones de origen estructural denudacional y denudacional que caracterizan las formas del relieve que tienen un origen marcadamente influenciado por la disposición de los estratos y las características fisicoquímicas de las rocas que desarrollan formas sobresalientes. De acuerdo con la inclinación de los estratos y dureza de las rocas se presentan las siguientes morfologías, morfología de Mesetas (Mm), Morfología de Cuestas (Mc) y Morfología de Piedemonte (Mp) (Gomez Blanco & CARDIQUE, 2006).

Cinturón Del Sinú: Este cinturón se ha denominado Bloque Tectónico de Turbaco y se localiza en el costado oriental de la ciudad de Cartagena. Afloran de más antigua a más joven; Formaciones Arjona, Bayunca, Arroyo Grande y La Popa.

Formación Arjona (PgNga): Esta aflora al norte y al sur del municipio de Arjona, presenta una morfología ondulada levemente contrastante con la Formación San Cayetano, para poder apreciar su composición se tiene la siguiente sección: Sección Cuatro Caminos – Chiquito que compone de tres segmentos, el inferior va hasta los 650 m compuesto por lodolitas de color gris y amarillo y areniscas arcósicas de grano fino y grueso, cemento silicio, en la parte superior predominan las areniscas de grano grueso, conglomeráticas y se presenta un nivel de chert; el segmento intermedio va de 650 m a 1520 m conformado por lodolitas grises, rojizas y amarillas, hay intercalaciones esporádicas de arenisca cuarzosa y el segmento superior está formado por alternancia de areniscas, lodolitas y en menos proporción calizas.

Gravas de Rotinet (Qpr): Está conformada por gravas de cuarzo, chert negro, rocas volcánicas, neises y limolitas, en capas muy gruesas, cuneiformes, con estratificación en



artesa y macizas, con intercalaciones de arenitas cuarzosas a sublíticas, de grano fino a medio, deleznable, en capas cuneiformes delgadas y gruesas, con estratificación cruzada.

Formación La Popa (Qpp): En el área evaluada esta formación presenta cambios laterales e facies constituidas por un conjunto inferior arcillo limoso con pequeñas intercalaciones de areniscas de grano fino, una zona intermedia mucho más arenosa con pequeñas intercalaciones limosas y areniscas conglomeráticas y en la parte superior constituidas por limolitas arcillosas y areniscas de grano fino a muy fino.

La zona del acuífero de Turbaco está caracterizado por Calizas arrecifales que oscilan entre 30 y 40 m de profundidad y unidades detríticas entre 13 y 28 m. Como parte del estudio ejecutado por INGEOMINAS, construyeron un pozo con profundidad de 170 m, captando tanto la formación Calcárea como parte de la Unidad Detrítica (Gomez Blanco & CARDIQUE, 2006).

En el corregimiento de San Basilio de Palenque en el Municipio de Mahates

En el área de estudio se encuentran rocas pertenecientes al Eoceno y al Cuaternario, se caracteriza por tener una geología estructural bastante activa lo que lleva a la presencia de plegamientos y fallas inversas, que evidencian la acción compresiva de las Placas Caribe y Cocos contra la Placa Continental (Ecointegral-Ltda & CARDIQUE, 2006). Las estructuras que se encuentra en el área de estudio son:

- El sinclinal de palenque, este a su vez sirve como estructura almacenadora del Acuífero de Palenque.
- La falla El Limón.
- Falla María La Baja – Juana de Acosta.
- Falla de Majagual
- Falla de La Bonga

Sinclinal de Palenque, la estructura más importante en este municipio por su capacidad almacenadora se encuentra localizado entre las poblaciones de San Basilio de Palenque y Mahates, tiene un rumbo preferencial N15E. La amplitud máxima es de 3 km y dentro del



área tiene una longitud de 20 km. Se desarrolló en rocas de la Formación Maco, pertenecientes al Eoceno medio. Al sur de San Basilio de Palenque presenta cierre estructural, controlado por las fallas El Limón y María La Baja – Juan de Acosta (Ecointegral-Ltda & CARDIQUE, 2006).

La Formación Maco aflora al suroriente del área en una franja NE-SW que se extiende desde el caserío Majagua al sur, hasta la localidad de Mahates al norte. Su mejor exposición está en la sección Caserío Limón – Cantera Limón, con la siguiente característica: en la base, secuencia de litoarenitas arcósicas de grano medio y grueso conglomeráticas, generalmente amarillas por alteración, cemento silíceo localmente calcáreo, mala selección a moderada, capas gruesas amalgamadas continuas; internamente los granos están en forma desorganizada, masiva (Ecointegral-Ltda & CARDIQUE, 2006).

En San Basilio de Palenque se encuentran dos unidades hidrogeológicas que se describen a continuación:

Acuífero de Palenque: El acuífero más importante encontrado correspondiente a las rocas de la Formación Maco, constituida por litoarenitas arcósicas de grano medio y grueso conglomeráticas, generalmente amarillas por alteración, cemento silíceo localmente calcáreo, capas gruesas amalgamadas continuas. Sus condiciones geomorfológicas, le confieren características de ser un gran reservorio de agua subterránea con altas porosidades y transmisividades lo que lo convierte en un acuífero de medio-alto rendimiento. Este cuenta con buena porosidad primaria y también presenta algo de porosidad secundaria por fracturamiento, ya que, se encuentra en una zona estructuralmente activa formando el Sinclinal de Palenque, estructura que favorece la acumulación de agua (*Imagen 9*).

Acuífero de San Cayetano: Está unidad se encuentra subdividida estratigráficamente en dos secciones: su sección inferior constituida por secuencias de capas gruesas a muy gruesas de litoarenitas arcósicas de grano fino a grueso y de color claro, generalmente con cemento silíceo, selección moderada y grano de crecimiento en cada capa. Debido a que su disposición estructural no favorece demasiado el almacenamiento de agua subterránea, a nivel regional se considera como acuífero de poca importancia hidrogeológica, pero es posible que por



intenso fracturamiento pueda convertirse en roca almacenadora. En la región no se reporta explotaciones que capten agua de esta formación (Imagen 9).

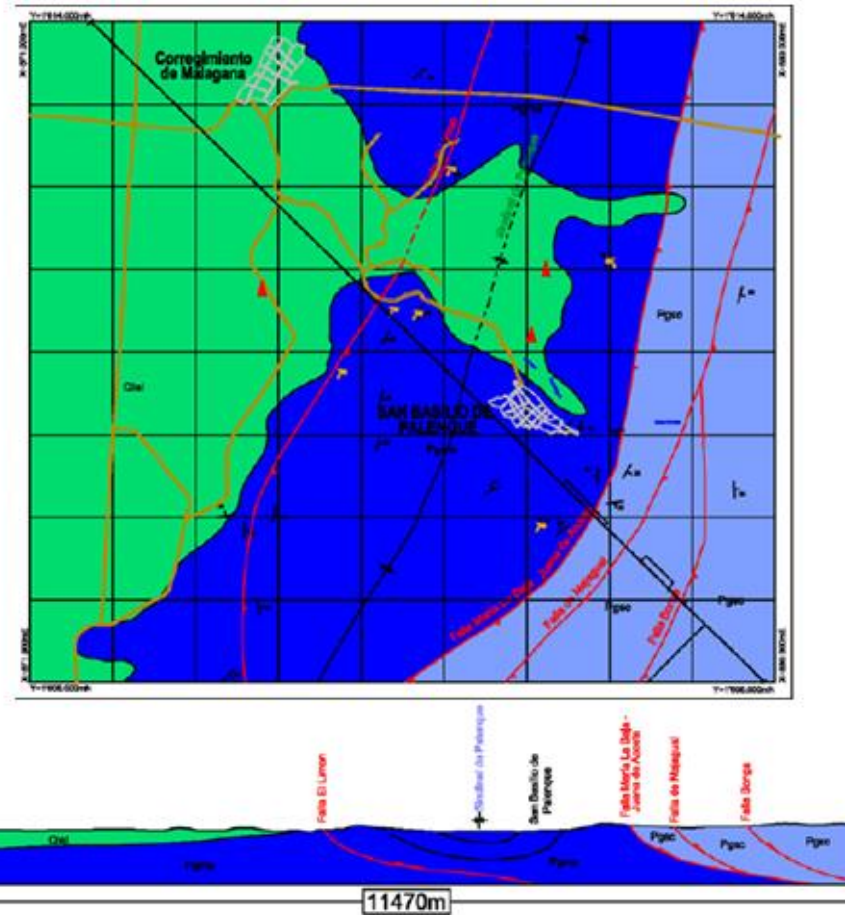


Imagen 9. Mapa Hidrogeológico del acuífero de Palenque. En azul oscuro el acuífero de Palenque, en azul claro acuífero de San Cayetano y en verde el Acuífero de los depósitos Cuaternarios. Fuente: (Ecointegral-Ltda & CARDIQUE, 2006)

En el corregimiento de Arroyo Grande

En el área de estudio de Arroyo Grande se encuentra ocho unidades geológicas las cuales son de la más antigua a más joven: Turbiditas de Luruaco (T16), Arcillolitas de Bocatocino (T13), Unidad de Limolitas Ferruginosas (T12), Unidad Detrítica del Popa (T2), Calizas Arrecifales del Popa (T1), Formación Arroyo Grande (Q7), Deposito Aluviales-terrazas (Q6) y Depósitos de Playa (Q1) (Hidrogeólogos Asociados Ltda; CARDIQUE, 2000). A continuación se describe la Formación Arroyo Grande:



Formación Arroyo Grande (Q7)

Es la unidad geológica de mayor extensión y la de mayor importancia por ser el principal acuífero del área de estudio. Aflora en una amplia franja de dirección noreste que se extiende desde la región de Los Matarratones al suroccidente hasta la región de Palmarito, al nororiente (Hidrogeólogos Asociados Ltda; CARDIQUE, 2000).

Estratigráficamente la Formación Arroyo Grande (Q7) en el borde oriental se encuentra en contacto fallado con la Unidad de Limolitas Ferruginosas (T12) y la Unidad Detrítica del Popa (T2) mientras que al sur occidente cubre discordantemente a esta última unidad (Hidrogeólogos Asociados Ltda; CARDIQUE, 2000).

De acuerdo al estudio desarrollado en el “modelo hidrogeológico del acuífero de Arroyo Grande”, se destacan las siguientes unidades hidrogeológicas con características geohidráulicas de mayor interés (Hidrogeólogos Asociados Ltda; CARDIQUE, 2000).

Tabla 4. Características de Acuíferos de Arroyo Grande

Capa No.	Capa Geológica	Capa Hidrogeológica	Aporte de caudal (L/s)	Coef. Almacenam. Específico S_s (m^{-1})	Descripción
2	CUATERNARIO(ac)	Acuífero Depósitos Aluviales-Terrazas. (libre y de semiconfinamiento)	0.5 a 1.0	$1.0 \cdot 10^{-5}$	Aporte de A.S al norte del municipio de Santa Catalina y al norte y sur de Arroyo Grande
3	CUATERNARIO. ARROYO GRANDE(at)	Acuífero Arroyo Grande	2.0 a 35	$5.0 \cdot 10^{-1}$ - $3.0 \cdot 10^{-7}$	Condiciones de acuífero libre a confinado
4	TERCIARIO. UNIDAD DETRITICA DEL POPA (adp)	Acuífero Unidad Detrítica del Popa	1.0 a 5.0	$1.0 \cdot 10^{-6}$	De extensión local, en rocas sedimentarias
5	TERCIARIO. UNIDAD TURBIDITAS DE LURUACO (actl)	Acuitardo (discontinuo de extensión regional)	0 a 1.0	$1.0 \cdot 10^{-6}$	El aporte de A.S depende de la litoestratigrafía y la densidad de fracturamiento

El Acuífero Arroyo Grande, presenta condiciones y características hidrogeológicas propicias para el almacenamiento y flujo de agua subterránea, los resultados muestran valores de



resistividad aparente que se correlacionan con la presencia de capas y/o lentes de materiales granulares (gravas y arenas) saturados con agua dulce, que constituyen acuíferos de rendimiento medio.

ii. Departamento del Cesar

Para estudiar el departamento el IDEAM junto a CORPOCESAR dividieron el departamento en ecorregiones, estas grandes regiones se escogieron por reunir características similares; Dentro de las ecorregiones del Departamento del Cesar se tiene: Ecorregión de la sierra nevada de Santa Marta (ubicada al nororiente del departamento), Ecorregión del complejo cenagoso de Zapatoso (queda al suroccidente del departamento), Ecorregión de la Serranía de Perijá (ubicada al oriente y sur del departamento) y por último la ecorregión de los valles del río Cesar y Magdalena (están en el centro del departamento desde el norte hasta el sur).

Geología afloran superficialmente y en el subsuelo unidades roca sedimento en cuyas edades comprenden desde el Cuaternario hasta el Paleozoico en el área de estudio (CORPOCESAR, IDEAM, Cañas, & Armenta , 2009).

La Serranía de Perijá, estratigráficamente está conformada por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias cuyas edades están comprendidas entre el Cambro – Ordovociano y el Reciente. En superficie las rocas sedimentarias son altamente predominantes y cubren aproximadamente el 90% del área, le siguen en importancia las metamórficas y las ígneas.

Imagen 10. Ecorregiones estratégicas, Departamento del Cesar.

Dentro de las ecorregiones del departamento del Cesar se tiene:

- Ecorregión de la sierra nevada de Santa Marta (ubicada al nororiente del departamento).
- Ecorregión del complejo cenagoso de Zapatoso (queda al suroccidente del departamento).
- Ecorregión de la Serranía de Perijá (ubicada al oriente y sur del departamento): hidrografía; de los 20 ríos mayores que nacen en la Serranía, 11 son tributarios del



río Cesar y le aportan unos 1.326 millones de m³/año, que contribuyen a mantener un caudal que sin embargo en la época de estiaje es bastante deficitario; 4 tributan al río Magdalena, 3 al río Lebrija y 2 a la cuenca del río Catatumbo (sur del departamento).

- y por último la ecorregión de los valles del río Cesar y Magdalena (están en el centro del departamento desde el norte hasta el sur). -Valle del Cesar: cuenta con suelos considerados de alta productividad. Nace en la ecorregión Sierra Nevada de Santa Marta, en el departamento de La Guajira y recorre aproximadamente 380 kilómetros hasta su desembocadura en el río Magdalena, la ecorregión Valle del Río Cesar se caracteriza porque en ella aflora el sistema acuífero de la llanura aluvial, este acuífero se ha subdividido en bloques de acuerdo a la productividad hídrica de cada uno. La calidad de los acuíferos, en general, hace el agua subterránea en esta ecorregión apta para el consumo humano, limitado en algunos sectores y mayormente inadecuado para riego, aunque en los bloques Becerril–La Loma y Rincón Hondo, el agua sí es apta para la irrigación. De acuerdo con INGEOMINAS-CORPOCESAR (INGEOMINAS, 1995) el total de reservas calculadas, 218´346.000 m³, supera a la explotación que se hace en esta ecorregión, que es del orden de 39´331.050 m³/año. Para el consumo humano, el 80% de las aguas subterráneas son químicamente potables respecto a las normas de la Organización Mundial de la Salud. Valle del río Magdalena, la ecorregión del Valle del río Magdalena cuenta con suelos considerados de alta productividad. Esta ecorregión es dependiente de la ecorregión de la Serranía de Perijá en función de la cantidad del recurso hídrico que ésta le aporta a aquella. la hidrografía está representada por las quebradas que nacen en la Serranía del Perijá y tributan sus aguas al río Magdalena las aguas subterráneas de esta ecorregión, (INGEOMINAS, 1995) estableció el uso de las mismas así: 15.000 m³/año para uso público, 2.050.000 m³/año para uso doméstico y 23.100 m³/año para la ganadería, todas estas extracciones se hacen mediante aljibes, mientras que por pozos profundos la extracción es de 209.600 m³/año para uso público, 124.000 m³/año para uso doméstico, 11.600 m³/año para riego en agricultura y 146.700 m³/año para la ganadería.



Luego de identificadas cada ecorregión se hizo una búsqueda de todos sus sistemas acuíferos, así como identificar muchas propiedades de los mismos.

- Sistema Acuífero Depósito de Llanura Aluvial indica que las aguas son dulces; Localmente se presentan áreas con aguas saladas las cuales presentan. La primera capa acuífera del Sistema Acuífero Depósito de Llanura Aluvial en general se puede considerar de salinidad media y pueden usarse para irrigación si existe un lavado moderado del suelo.
- Sistema Acuífero Depósito de Cono Aluvial (Qcal) indica que las aguas son dulces; Localmente se presentan áreas con aguas saladas; En general dulces y aptas para consumo humano.
- Sistema Acuífero Depósito de Cono Aluvial (Qcal1) Las aguas subterráneas de la primera capa acuífera del Sistema Acuífero Depósito de Cono Aluvial (Qcal1) en general se pueden considerar de salinidad media y pueden usarse para irrigación si existe un lavado moderado del suelo.
- Sistema Acuífero Depósitos de Cono Aluvial (Qcal2). Las aguas subterráneas de la primera capa acuífera del Sistema Acuífero Depósito de Cono Aluvial (Qcal2) en general se pueden considerar de salinidad media y pueden usarse para irrigación si existe un lavado moderado del suelo.
- Sistema Acuífero Depósitos de Cauce Aluvial (Qal) en general se pueden considerar de salinidad media y pueden usarse para irrigación si existe un lavado moderado del suelo (CORPOCESAR, IDEAM, Cañas, & Armenta , 2009).

iii. Departamento de Córdoba

Las unidades geológicas que afloran en el Departamento de Córdoba, hacen parte en su gran mayoría de los cinturones Terciarios del noroccidente Colombiano (Cinturones plegados de San Jacinto y Sinú), de la Cadena Andina Centro-Occidental (Cordilleras Occidental y Central) y de la Cuenca de Urabá en su extremo sur (INGEOMINAS, 2004). Entre las unidades que se encuentran en este departamento se destacan las siguientes:



- Formación El Cerrito (N1ec): Se extiende con dirección N-S en la parte centro oriental y hacia el sur, cambia su dirección a SW-NE del departamento. Se encuentra en el cinturón plegado de San Jacinto.

Se caracteriza por tener un nivel calcáreo de 20 m de caliza maciza, compacta y dura de color amarillo oscuro en el área de Planeta Rica y en el área de Colomboy-Bajo grande, la base consiste en arenas calcáreas blanco-amarillentas con nódulos arcillosos (Dueñas & Duque Caro, 1981).

- Formación Sincelejo (N2Q1s): Se extiende como una franja continua de dirección aproximadamente N-S, que atraviesa desde el oriente de Buenavista hasta Chinú en el norte.

Está constituida por areniscas en capas muy gruesas, sin estratificación aparente, de grano grueso, compuestas por cuarzo, feldespatos y líticos, color gris claro amarillento con niveles esporádicos de guijos y presencia de nódulos de areniscas, con cemento calcáreo. Restos de troncos silicificados hasta de un metro de diámetro están presentes en algunos de estos afloramientos, (Barrera, 1995).

- Formación Betulia (Q1b): Está expuesta en el extremo oriental del departamento y son muy frecuentes sus cambios faciales. Los afloramientos de esta formación en general están profundamente meteorizados. Hacia la parte inferior presenta una serie monótona de arcillas ligeramente arenosas de color gris oliva a marrón amarillento, plásticas con algunos niveles delgados de gravas que incluyen gránulos y guijos de chert y fragmentos de caliche. Para la Formación Betulia se reporta un espesor aproximado de 1500-1700 metros.

Unidades hidrogeológicas

Para el departamento se han identificado los acuíferos con mejores posibilidades de explotación (*Imagen 11*) y han sido denominados como rocas y sedimentos con alto potencial de agua subterránea (INGEOMINAS, 2004).



- Acuífero Sincelejo (N2Q1s): Aflora en una franja de dirección N-S. Corresponde a una secuencia de areniscas, conglomerados y arcillas con nódulos calcáreos, presentando cambios de facies tanto laterales como verticales.

Se comporta como un acuífero libre a confinado con buenas posibilidades de explotación mediante pozos con profundidades entre 250 y 500 metros. Se capta esta unidad a través de pozos y aljibes con profundidades que alcanzan 250 y 7.6 metros respectivamente, los caudales obtenidos pueden alcanzar los 30 lps, para una descarga artificial es de 3500 m³/día aproximadamente (Base de datos Hidrogeológicos del INGEOMINAS BDH).

- Acuífero Betulia (Q1b): Está conformado por intercalaciones de arenas, gravas y arcillas en capas no continuas en la horizontal y cuyo espesor total puede llegar a alcanzar los 700 metros.

Se comporta como un acuífero libre a confinado de mediana productividad, con capacidades específicas de 0,3 l/s/m. Presenta buenas posibilidades de explotación a profundidades entre 100 y 250 metros. Algunos pozos profundos son surgentes y se calcula una descarga artificial promedio de 1400 m³/d, a través de aljibes y pozos con caudales de explotación entre 0,68 y 16 lps.

- Acuífero de Depósitos Aluviales (Qal): Es un acuífero discontinuo de extensión local conformado por capas de grava, arena, limo y arcilla, depositadas en un ambiente fluvio-lacustre. Se define como un acuífero libre a semiconfinado de baja productividad, con capacidades específicas entre 0,02 y 0,8 l/s/m. Y posibilidades de explotación a través de pozos entre 100 y 200 metros de profundidad. De los acuíferos aluviales se identifican el Acuífero del valle del río Sinú (actualmente no se emplea para consumo humano, aljibes) y el Acuífero del valle del río San Jorge (empleada para consumo humano mediante pozos).
- Acuífero El Cerrito (N1ec): Este acuífero consta de una alternancia de lodolitas y areniscas calcáreas de grano fino y lentes discontinuos de conglomerados e intercalaciones de limonitas y areniscas arcillosas y arenisca de grano fino hacia la parte media y superior.



Se define como un acuífero semiconfinado a confinado de baja productividad, con capacidades específicas entre 0,03 y 0,2 l/s/m. Las posibilidades de explotación se presentan a través de pozos con profundidades entre 100 y 300 metros. La descarga artificial a través de pozos y aljibes es del orden de 2500 m³ por día.

La aguas subterráneas de mejor calidad se encuentran en las unidades de Sincelejo, Betulia y Depósitos aluviales del San Jorge (INGEOMINAS, 2004).

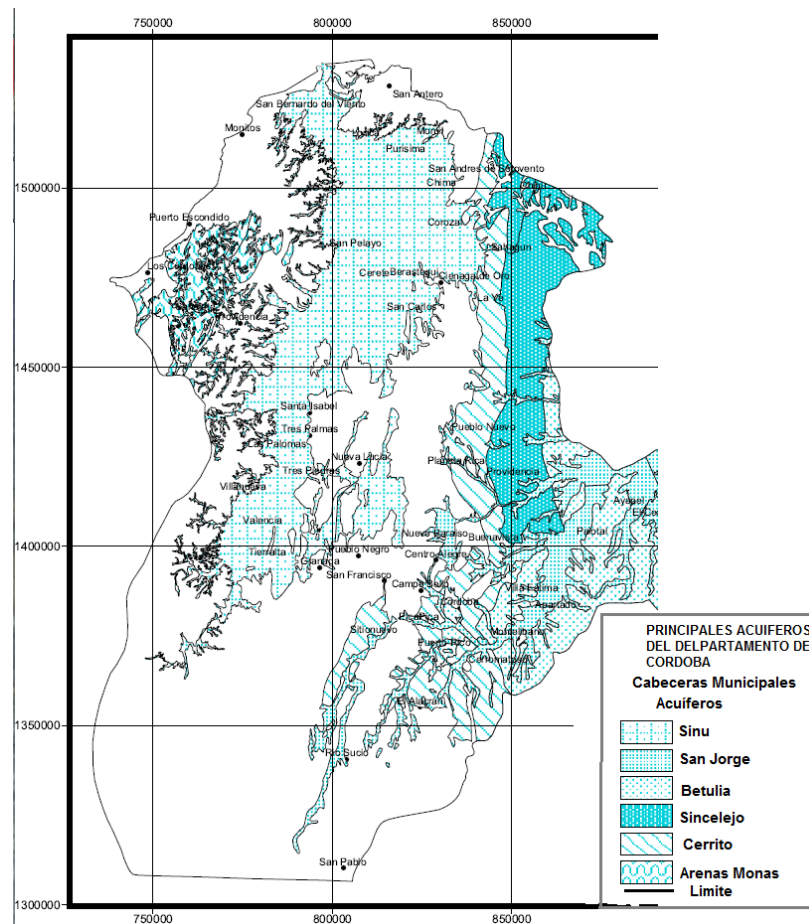


Imagen 11. Principales acuíferos del departamento de Córdoba. Fuente: CVS

iv. Departamento de La Guajira

En La Guajira se presenta una interacción entre las placas del Caribe y Suramérica que permite el afloramiento de diversas unidades geológicas, con un amplio rango de edades del Paleozoico al Cuaternario, afectadas por dos trenes estructurales dominantes, las cuales



pueden ser separadas en tres grandes bloques geológico-estructurales: A. El área al norte de la Falla Oca, que comprende la península de La Guajira, dividida en dos zonas denominadas alta y baja Guajira, B. El área entre las Fallas Oca y Santa Marta - Bucaramanga en la cual se distingue la Sierra Nevada de Santa Marta, C. Una zona que comprende la serranía de Perijá y el valle de los ríos Cesar y Ranchería (CORPOGUAJIRA & Universidad de Antioquia, 2011).

En la península de la Guajira y en la Sierra Nevada de Santa Marta se registra la presencia de rocas metamórficas con edades entre el Paleozoico y el Cretáceo, rocas sedimentarias del ampliamente distribuidas en la península de La Guajira, valle del Cesar - Ranchería y serranía de Perijá, y abarcan rocas con edades desde el Jurásico hasta el reciente y ambientes de depósito continentales y marinos.

En la zona media y baja Guajira se encuentran las siguientes formaciones importantes en el desarrollo de exploraciones de aguas subterráneas: Formación Corual (Tc); Formación Guatapurí (Tg); Formación La Quinta (Jq), Formación Colón (K2cl) y Formación Hatonuevo (K2hn) estas al sur de la Falla de Oca; Grupo Cogollo (Ksc) (K2), la roca presenta fracturamiento intenso y las fracturas están abiertas, dejando así una porosidad secundaria; Formación la Luna(Ksl); Formación Manantial: (constituida principalmente por areniscas de grano fino, de color blanco a gris claro, shales arenosos); Formación Cerrejón (areniscas conglomeráticas, que contienen cantos de cuarzo y chert oscuros); Formación Aguas Nuevas describe estas areniscas como areniscas de grano grueso a medio, con clastos de cuarzo bien redondeados hasta de 4 cm de diámetro); Formación Monguí (N1m) Principal acuífero en la Media Guajira.

En la zonificación de la Alta Guajira se identifican varias unidades que se caracterizan por presentar porosidad secundaria que los hacen considerar como acuíferos debido al fallamiento que produce la fracturación de las rocas como son: Formación Uitapana (roca sin una continuidad lateral), Formación Cheterló (Grupo cosinas, roca de alto grado de fracturamiento), Formación Chinapa (unidad fallada y fracturada), Shales Cuisa (fuerte cizallamiento), Formación Moina (disolución en las calizas), Formación Yuruma superior



(disolución en las micritas), Formación cogollo inferior, Formación Maraca, Formación Macarao, Formación Siamaná (principal acuífero de la Alta Guajira).

Depósitos recientes: A través de la alta Guajira se presentan depósitos delgados, no fosilíferos y poco consolidados de conglomerados y areniscas. Al sur del departamento, en el extremo norte de la Sierra Nevada de Santa Marta se localizan algunos depósitos de terrazas (Q1t). Depósitos de abanicos y gravas (Q2g), Las arenas eólicas (Q2ae) (CORPOGUAJIRA & Universidad de Antioquia , 2011).

El sistema hidrogeológico de la cuenca del río Ranchería se considera conformado por seis unidades acuíferas (*Imagen 12*) ya exploradas y delimitadas y una más por evaluar (Universidad de Antioquia, CORPOGUAJIRA, & MinAmbiente, 2013). Que se describen con las siguientes designaciones:

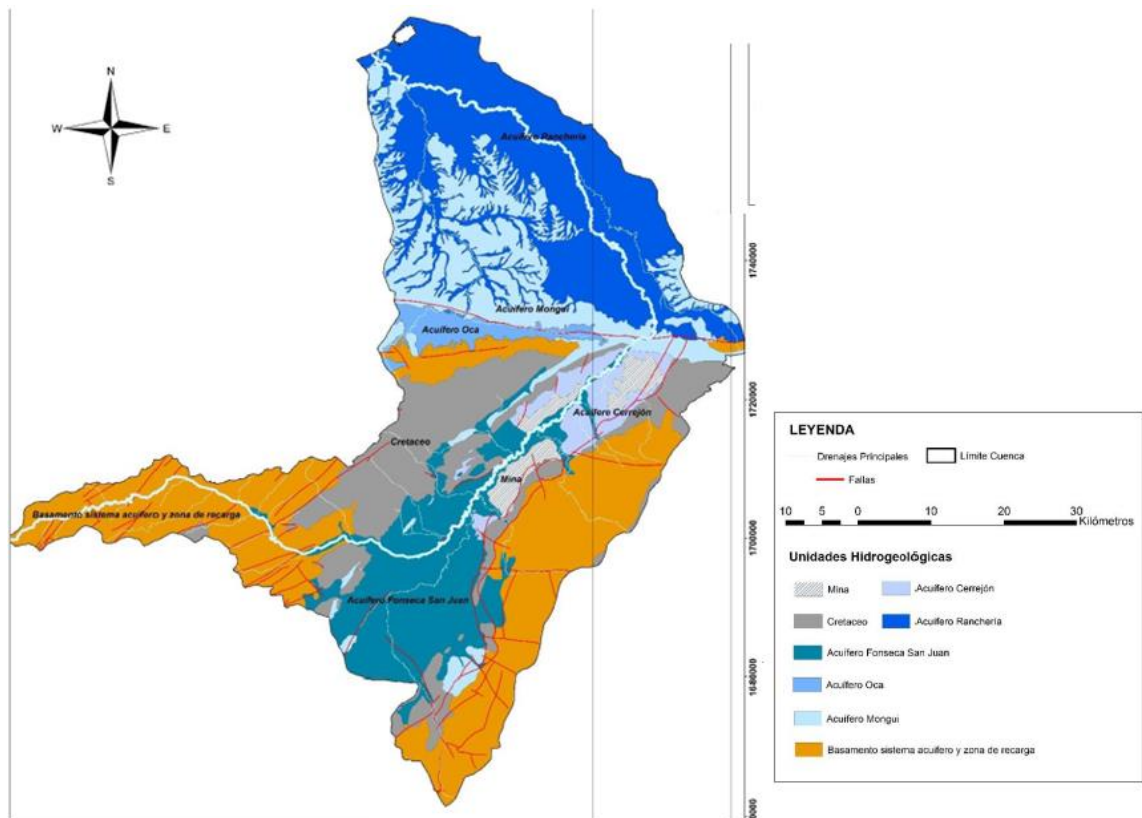


Imagen 12. Principales acuíferos en la cuenca Ranchería. Fuente: (Universidad de Antioquia, CORPOGUAJIRA, & MinAmbiente, 2013)



- Acuífero Libre Ranchería: Asociado a los depósitos aluviales recientes del río Ranchería y sus afluentes, al norte de la Falla de Oca. Posee un espesor entre 0 y 78,4 m.
- Acuífero Libre Fonseca-San Juan: Asociado a los depósitos aluviales recientes del río Ranchería al sur de la cuenca. Cuenta con espesores entre 0 y 80 m y una profundidad media de 30 m, ocupa un área de 6.500 km² acumulando un volumen de 20,14 km³.
- Acuífero Libre Oca: Asociado a los depósitos aluviales recientes del arroyo El Salado, cuyo curso sigue la dirección de la Falla de Oca. Alcanza espesores de 37,8 m en un área de 880 km² y con un volumen total cerca de 1 km³.
- Acuífero Monguí: Asociado a la formación sedimentaria Monguí, tiene carácter detrítico y se comporta como libre donde aflora en superficie y está confinado por debajo del acuífero Ranchería. Registra profundidades máximas entre 81 y 304 m distribuidos en un área de 14.800 km² y un volumen sólido de 341 km³.
- Acuífero Cerrejón: Corresponde a las formaciones sedimentarias del Terciario (Formación Manantial, Formación Cerrejón y Formación Aguas Nuevas), que se conjugan en una única unidad hidrogeológica que tendría el carácter de acuífero multicapa con algunos niveles confinados, subyace al acuífero Fonseca-San Juan. Presenta espesores entre 0 y 166 m, se extiende en un área de 2.960 km² acumulando un volumen aproximado de 17,17 km³.
- Acuífero Hatonuevo-Barrancas: Correspondiente a la Formación Geológica Cogollo, tiene carácter carbonatado con facies de karstificación, el acuífero subyace a las rocas sedimentarias del Eoceno. Presenta aguas dulces a profundidades que superan los 150 m.



v. Departamento del Magdalena

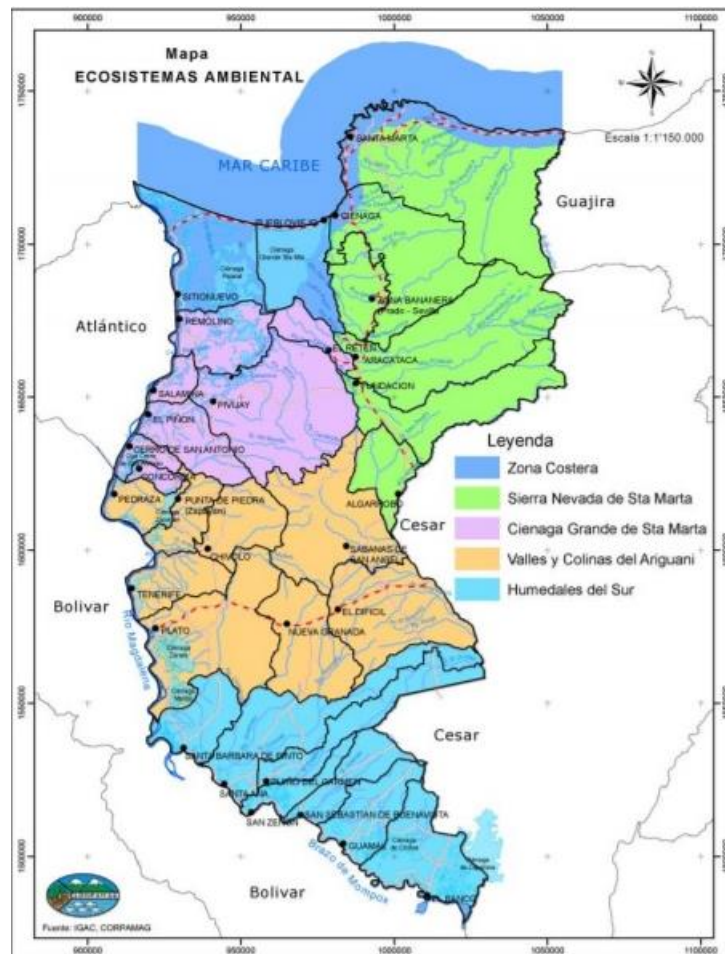


Imagen 13. Grupos de ecosistemas designados por CORPOMAG. Fuente: oficina de planeación, CORPOMAG

El departamento cuenta con 59 ciénagas, que a la vez comprenden un área aproximada de 112.926 hectáreas. Por su tamaño, y por el nivel de degradación ambiental se destacan: la Ciénaga Grande de Santa Marta, Zapatosa (compartida con el departamento del Cesar), Chilloa, Cerro de San Antonio, La Tascosa, el complejo Zarate Malibú-Veladero, Pijiño, El Sapo y Playa Afuera (CORPOMAG, 2014).

- Sistema acuífero ciénaga – fundación: También conocido como acuífero de la zona bananera de Santa Marta, es un acuífero de origen aluvial, tipo multicapa, de carácter libre a semiconfinado, entre las estribaciones de la Sierra Nevada y el extremo meridional de la Ciénaga Grande de Santa Marta.



- Sistema acuífero de Santa Marta: El sistema acuífero de Santa Marta está constituido geológicamente por cuaternarios de coluvión, de terrazas aluviales (principal formación acuífera), terrazas marinas y rocas ígneas (batolito de Santa Marta) y metamórficas (esquisto de Santa Marta).
- Sistema acuífero Bajo Magdalena: El sistema acuífero de carácter regional, ampliamente extendido entre las provincias hidrogeológicas Sinú - San Jacinto y Valle bajo del Magdalena, está asociado a las regiones con topografía plana a semiplana que se encuentran a partir de la margen oriental del Río Magdalena. Está conformado por:
 - Acuífero Magdalena. Corresponde al acuífero superficial conformado por el valle del Río Magdalena que reposa sobre un basamento de rocas Terciarias predominantemente arcillosas representadas por la Formación Zambrano.
 - Sistema acuífero Chivoló: Aflora en el departamento del Magdalena en los municipios de Chivoló, Tenerife, el Plato y Nueva Granada, en forma de parches aislados depositados sobre la Formación Zambrano de carácter impermeable.
 - Acuífero Manzanares - Gaira , Distrito de Santa Marta: Volumen estimado del acuífero: 170 Mll de m³ correspondiendo un cuarto de dicho volumen al subacuífero de Gaira y el resto al subacuífero de Santa Marta con una explotación de 135 L/s y 660 L/s correspondientemente en cada uno de dichos subacuíferos (Ideam, 2015).

vi. Departamento de Sucre

En el Departamento de Sucre afloran rocas sedimentarias y sedimentos no consolidados de origen marino, transicional y continental. Presenta tres grandes formaciones: Formación Sincelejo, Formación Morroa o Miembro superior de Sincelejo, y Formación Betulia, Depósitos aluviales (Carsucre, 2003).

Formación Sincelejo: Conforman un sistema de colinas alargadas en dirección noreste, de topografía abrupta; son comunes los caballetes. Esta formación se compone de dos conjuntos principales: Formación Sincelejo Inferior (Tpsi) y Formación Sincelejo Superior (Tps).



Formación Morroa o Miembro superior de Sincelejo (Tpm): Se caracteriza por presentar una topografía ondulada formada por un sistema de colinas bajas alargadas, de pendientes suaves a moderadas y vertientes cortas, alternando con valles pequeños poco profundos.

Formación Betulia (Qpb) Se caracteriza por presentar colonas muy suaves de poca altura con topografía plana ligeramente ondulada. Morfología típica de las Sabanas Sucre.

Depósitos Aluviales (Qal) en general son de poco espesor y están formados por arenas sueltas, gravas, arcillas y limos (Carsucre, 2003).

Dentro de los sistemas acuíferos que tiene el Departamento de Sucre se destacan:

- **Acuífero de Morroa:** es un acuífero complejo, continuo y de extensión regional, constituido por capas semiconfinadas y confinadas de areniscas y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales. El agua de este acuífero es considerada apta para el consumo humano.
- **Sistema acuífero Morrosquillo:** Acuífero costero de tipo libre a confinado, multicapa, su espesor varía entre 20 y 100 m y ésta conformada por tres niveles.
- **Sistema acuífero Tolú Viejo:** El Acuífero de Tolú viejo está demarcado dentro de la Serranía de Coraza, la cual se sitúa al norte del Departamento de Sucre. Conformado por la Formación Tolú viejo de edad Eoceno Superior, constituida principalmente por una sucesión de calizas arrecifales con un conglomerado cuarzoso hacia la base e intercalaciones de areniscas calcáreas muy fosilíferas hacia la parte media y alta, las cuales aumentan hacia el sur en las localidades de Varsovia y Palmito (Ideam, 2014).

Luego de conocido los aspectos específicos de cada Departamento de la Región Caribe se puede decir que es una zona con gran variabilidad de zonas, unas más húmedas que otras, pero, aun así es una región muy rica en Formaciones geológicas que permiten la presencia de acuíferos como los descritos anteriormente. La capacidad de este recurso hídrico subterráneo es considerable en esta parte del país.



6.4.2 Tipologías socioeconómicas de la zona de estudio

Para hacer una mejor tipología se decidió dividir el estudio por departamentos como se había comentado anteriormente.

i. Bolívar

En este departamento las actividades desarrolladas en los alrededores de los acuíferos pueden variar de acuerdo al tipo de suelo, en el caso de la zona del Municipio de Turbaco se practica la ganadería semi intensiva con razas como cebú, cultivos de subsistencia y en tierra tipo bosques cultivan arboles maderables (ceiba tolua, melina) (Gomez Blanco & CARDIQUE, 2006).

Alrededor de la zona del acuífero de Palenque se desarrollan actividades de tipo industrial como alimentos y bebidas, curtiembres, trabajos de ingeniería y de tipo industria agropecuaria como cultivos, producción pecuaria, minería (canteras). También practican ganadería de carácter extensivo (Ecointegral-Ltda & CARDIQUE, 2006).

En la zona de Arroyo Grande la actividad que se presenta e impacta mayormente al acuífero es la explotación de canteras con una cantidad de 14 canteras registras con explotación a cielo abierto (Hidrogeologos Asociados Ltda; CARDIQUE, 2000), de las cuales 10 están actualmente activas.

En general el agua subterránea es empleada para abastecimiento de agua potable, agricultura y ganadería.

ii. Cesar

La población comprendida en la ecorregión de los valle del rio Cesar y Magdalena utilizan el agua subterránea para el desarrollo de actividades agropecuarias (principalmente riego y consumo humano) e industriales (procesos agroindustriales y mineros especialmente).

La actividad rural (fincas y haciendas de la zona) tiene soporte en el aprovechamiento del agua subterránea, ya sea para consumo de los habitantes de los predios, o para riego de pastos,



para lo cual se requiere de un tratamiento menor, mientras que si el uso es industrial, se requiere de un proceso posterior con el objetivo de evitar los daños en las maquinarias (CORPOCESAR, IDEAM, Cañas, & Armenta , 2009).

iii. Córdoba

Se presentan distritos de riego en las zonas de Montería-Cereté y la Doctrina (Lorica) en el Bajo Sinú y Medio San Jorge. En el área de las planicies aluviales no inundables se desarrollan cultivos comerciales y ganadería intensiva en los valles del Sinú, San Jorge y Canalete. Suelos de planicie Piedemonte son aptos para agricultura comercial y para ganadería. Casi siempre necesitan riego supletorio (INGEOMINAS, 2004).

iv. La Guajira

Las actividades en esta región son de carácter agropecuario, predominando el uso a la tierra con cultivos de café, arroz, yuca y maíz como también la práctica de la ganadería intensiva y extensiva; siendo de vital importancia el recurso hídrico para el sostenimiento de las actividades agropecuarias; el agua subterránea se emplea más que todo en el abastecimiento domestico de rancherías y núcleos urbanos. La agricultura que se práctica es de subsistencia con cultivos típicos, en municipios como Distracción últimamente se está sembrando palma africana y melón y han desaparecido los cultivos tradicionales de caña de azúcar y el tabaco. En las poblaciones aledañas al río Ranchería se practica la pesca. También se da el desarrollo minero por parte de El Cerrejón, donde la extracción de carbón se realiza a cielo abierto utilizando métodos convencionales de explotación y explotación de calizas en Los Hornitos (MADS, CORPOGUAJIRA, & Universidad de Antioquia, 2013).

v. Magdalena

En el ámbito nacional, el departamento del Magdalena está catalogado como el que mayor demanda de agua requiere para las actividades socioeconómicas, siendo el sector agrícola el que presenta la más alta participación con el 94 %, en tanto que el uso doméstico (consumo, aseo) que hacen las personas del agua, representa el 5 % de la demanda y el uso pecuario el 1 % (DNP, 2011).



La economía del Magdalena se ha caracterizado por su tamaño pequeño en el conjunto nacional, de menos del 2 % y tradicionalmente ha tenido al sector agropecuario como actividad líder.

En síntesis la economía del departamento del Magdalena está centrada en actividades agropecuarias, ganaderas, turísticas y portuarias. La ganadería se concentra en los municipios de Pivijay, Ariguaní, Santa Ana y Nueva Granada.

vi. Sucre

La principal actividad económica del departamento de Sucre es la ganadería vacuna, grandes extensiones de territorio se dedican a este fin. La agricultura es la segunda fuente de ingresos, se cultiva yuca, ñame, arroz, maíz, algodón, sorgo y plátano. El comercio y la prestación de servicios se localizan en la capital. La industria está poco desarrollada, existen algunas fábricas de alimentos, bebidas y cemento. La piscicultura es otro factor económico importante en el departamento especialmente en la región del bajo San Jorge y del bajo Cauca; entre las especies más sobresalientes cabe destacar el bocachico, el bagre, mojarra, moncholo, entre otros. Las aguas subterráneas es la principal fuente de abastecimiento de dichas actividades. Aunque principalmente se usa el agua subterránea para uso doméstico (Toda Colombia, 2015).

Se destaca que las principales actividades económicas están ligadas al campo, como lo son: la ganadería, agricultura y agropecuario, y en menor medida industria, minería y de turismo; Para realizar estas actividades en la región Caribe Colombia la principal fuente de agua es el agua subterránea debido a la facilidad y disponibilidad del recurso. Por esto, es importante establecer conductas de sostenibilidad dado que este recurso es el pilar en muchos departamentos de la región.



6.4.3 Actores involucrados en el manejo del agua subterránea

De acuerdo a la información estudiada se establece que los actores principales en el manejo y control del agua subterránea son: las entidades gubernamentales como la Gobernación, Alcaldía Municipal, Secretaria de Planeación de cada departamento y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible junto con las Corporaciones Autónomas Regionales como son: CARDIQUE, CORPOCESAR, CVS, CORPOGUAJIRA, CORPOMAG Y CARSUCRE, estos son los encargados de realizar los debidos estudios y exploraciones para conocer la presencia, el estado y calidad del agua subterránea en el municipio que corresponda, también son quienes deben implementar obras de protección, mantenimiento y/o adecuación y cerramiento de aquellos puntos de agua explotados en uso o deterioro. Estas entidades son las máximas autoridades respecto a este recurso hídrico. Cabe señalar que en algunos departamentos también se ve la participación de las Universidades como actor en la realización de estudios hidrogeológicos como es el caso de la Universidad de Antioquia que contribuyó al desarrollo del Modelo hidrogeológico y Sistema de Información en la cuenca del río Ranchería, UNIGUAJIRA como aliado en el estudio sobre los acuíferos en Maicao (CORPOGUAJIRA, Ministerio de Ambiente, 2009), lo que se considera como un gran aporte desde la academia y que se debería implementar en todos los casos de estudios de este recurso hídrico subterráneo, la participación de las Universidades desde lo ambiental e ingenieril.

Mientras que los otros involucrados como lo son los habitantes, quienes aprovechan el recurso, tendrían la responsabilidad de darle un buen uso al agua desde un aspecto cultural y educativo.

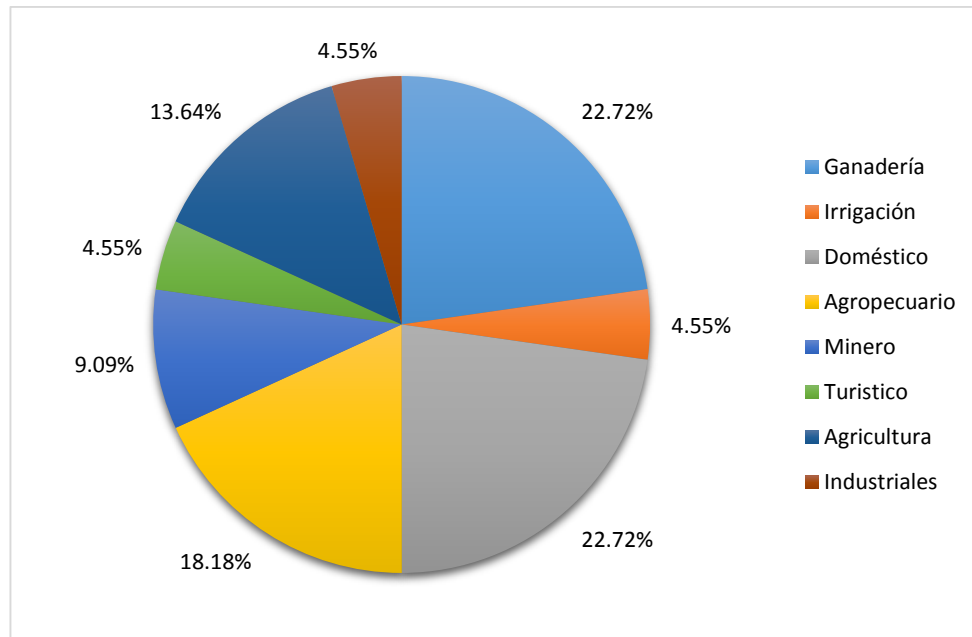
A continuación se presenta un esquema del orden de participación de los principales actores en el manejo y uso del agua subterránea (*Figura 1*):



Figura 1. Esquema de los actores involucrados en el manejo y uso del agua subterránea



6.4.4 Representación y evaluación del uso del agua subterránea



Grafica 6. Uso porcentual del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana. Fuente: Autores

Una vez analizada la información sobre el agua subterránea en los departamentos escogidos, se obtuvieron los usos principales que se le da a este recurso por departamento, compactando así la información en la *gráfica 6*, donde los porcentajes representan las zonas que utilizan el recurso hídrico subterráneo para el mismo tipo de uso; los usos que más se le da al agua subterránea es el doméstico, seguido de la ganadería, lo que establece una relación entre las condiciones de los terrenos y el uso del recurso, puesto que, este es más utilizado en las poblaciones rurales donde no llegan sistemas de acueducto y por lo general la actividad que se realiza en estos lugares es la ganadería o agricultura, además que se puede decir que esta actividad es una característica socioeconómica de la Región Caribe.

Los datos de los usos encontrados se espacializaron en un mapa como se ve en la *imagen 14* presentada a continuación:

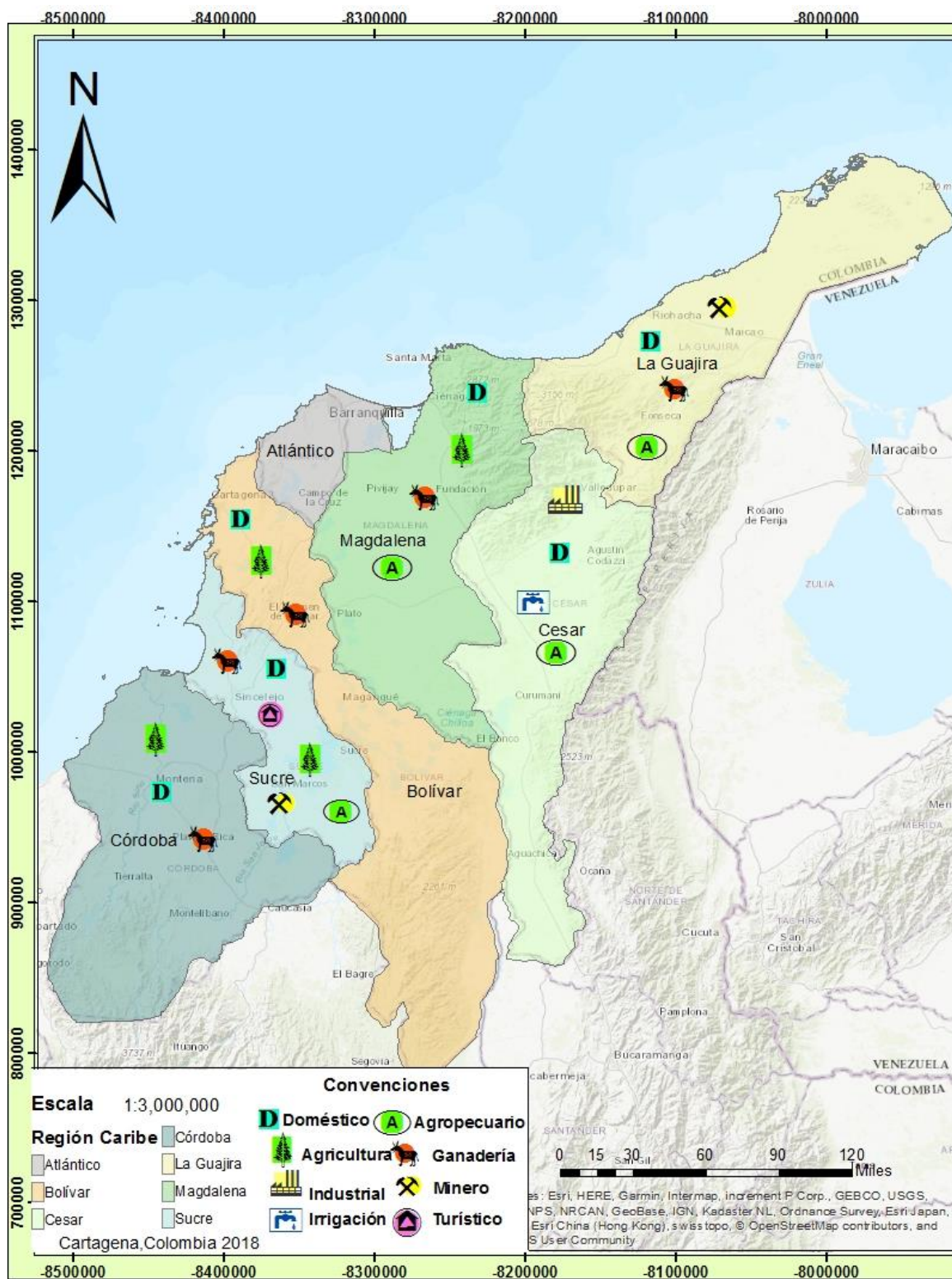
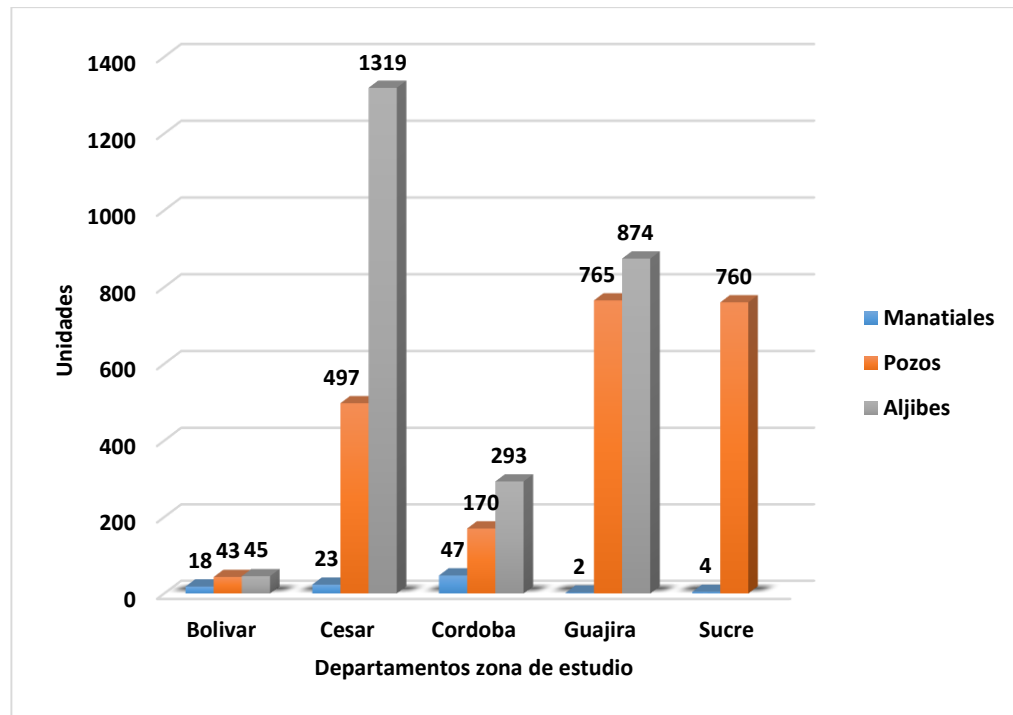


Imagen 14. Mapa de usos del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana. Fuente: Autores



❖ Formas de captación del agua subterránea en la Región Caribe

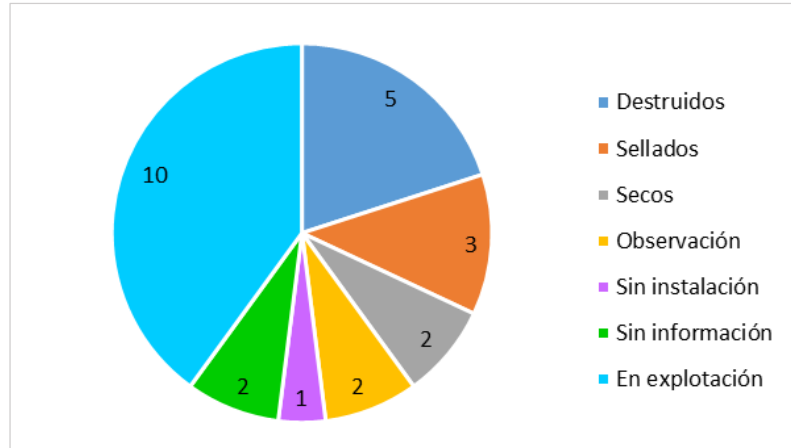


Grafica 7. Puntos de captación del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana. Fuente: Autores

De acuerdo a la *gráfica 7* se puede observar que la mayor forma de captación del agua subterránea se realiza a través de aljibes, seguido de pozos y manantiales, según la información encontrada en los diferentes documentos que se estudiaron. Dentro de los puntos inventariados se encuentran a su vez pozos y aljibes activos e inactivos, por lo tanto se requiere un conteo más actualizado, que contemple tanto las captaciones legales como ilegales para garantizar el uso sostenible del recurso.

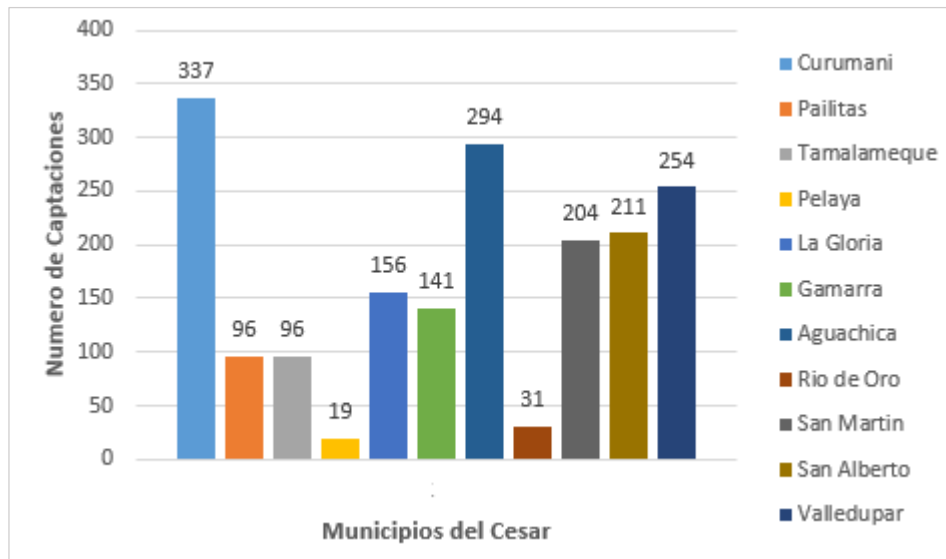


Para complementar la información anterior se tiene la documentación encontrada del estado de ciertos municipios de la región en cuanto a sus puntos de captación.



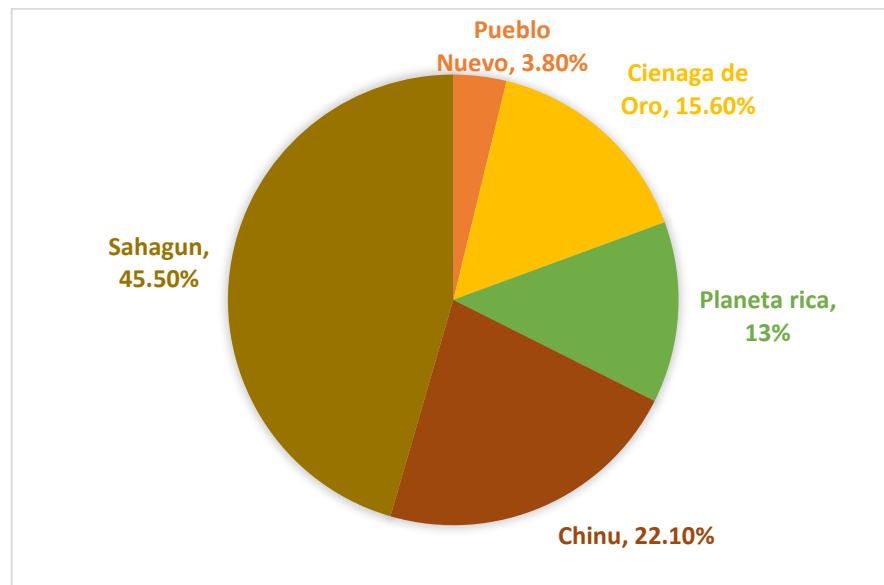
Grafica 8. Estado de pozos de acuífero Arroyo Grande. Fuente: Autores

De acuerdo a la *gráfica 8* se puede observar que uno de los cuerpos de agua del Departamento de Bolívar, acuífero Arroyo Grande, se encuentra en condiciones de extracción muy pobres, sólo el 45% aproximadamente de los puntos de extracción que hay están en explotación actualmente.



Grafica 9. Puntos de agua según distribución por municipio, Departamento del Cesar. Fuente: Autores

En la gráfica 9 está la distribución por municipios del Departamento del Cesar de los puntos de captación, en la cual resaltan estos tres municipios Curumani, Aguachica y Valledupar, con el mayor número de puntos de captación.

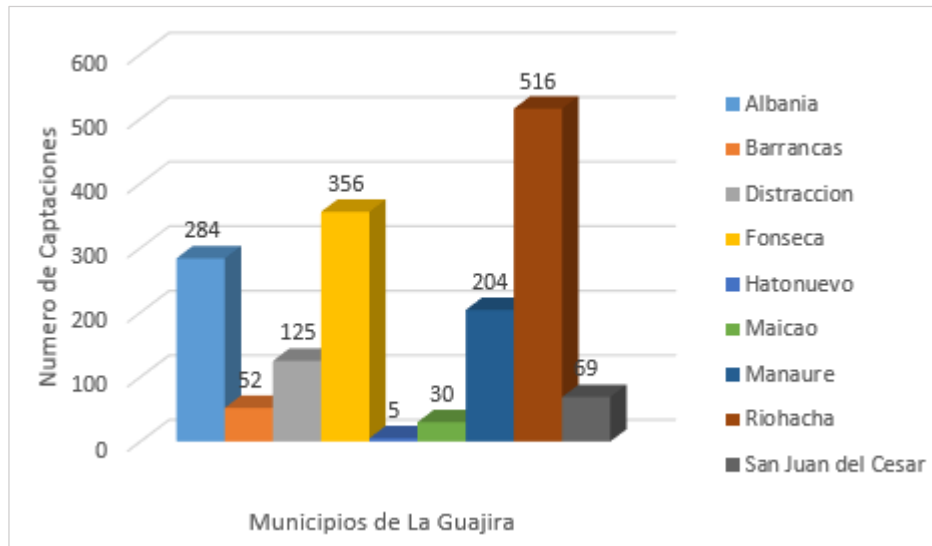


Grafica 10. Captación porcentual de agua subterránea distribuida por municipios registrados por la CVS Córdoba. Fuente: Autores

En la gráfica 10 se puede observar que en el Departamento de Córdoba, el municipio que más puntos de captación tiene es Sahagún seguido de Chinú. Cabe mencionar que el sistema



de abastecimiento de agua para la población de Chinú proviene de la captación de aguas subterráneas, contando la empresa de acueducto con cuatro pozos profundos (Alcaldía Municipal, 2008).



Grafica 11. Captaciones según distribución por municipios en el Departamento de La Guajira. Fuente: (CORPOGUAJIRA & Universidad de Antioquia, 2011)

De acuerdo a la *gráfica 11* en el Departamento de La Guajira el municipio con más puntos de captación es Riohacha, la capital.

Las formas en que más se extrae el agua subterránea en toda la región Caribe son mediante Aljibes y Pozos, pues estos tienen una forma sencilla de construcción, en mayor proporción los aljibes, garantizando así el acceso a este recurso; como bien se sabe sus mayores usos son el doméstico y el ganadero.

Estas formas de extracción son difíciles de controlar, el estado se ve incompetente a la hora de garantizar un uso sostenible del recurso, puesto que los estándares de legalización son muy altos, incitando así a la gran informalidad en los puntos de captación y a un inventario muy alejado de la realidad.



6.4.5 Análisis general sobre el uso y manejo del agua subterránea en la región Caribe

Para realizar este primer análisis general se estudió la información recopilada por medio de viajes y/o visitas y la encontrada vía web, así como también las descripciones anteriores referentes a la región Caribe Colombiana. Los primeros estudios de aguas subterráneas en el país se iniciaron desde 1950 por INGEOMINAS actualmente Servicio Geológico Colombiano, con el fin de reconocer las unidades acuíferas, sus condiciones y capacidades para abastecer de agua potable a las poblaciones con restricciones o limitaciones al acceso de fuentes superficiales.

A nivel interno del país en diferentes departamentos como Cundinamarca, Boyacá, Santander, Tolima, Meta, Guaviare, Casanare, Huila, Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Antioquia, Bogotá y de los correspondientes analizados Bolívar, La Guajira y Magdalena han venido trabajando una forma de aprovechar el agua subterránea para abastecimiento de las poblaciones rurales, fincas y zonas lejanas de los cascos urbanos, esto es realizado por un grupo base integrado por los mismos habitantes de las comunidades, son los acueductos comunitarios, diseñan todo el sistema para bombear el agua subterránea a las viviendas, estos cuentan con el apoyo de algunas instituciones, que se encargan de los aspectos técnicos como análisis de la calidad del agua, la principal población que se beneficia de esto es la campesina que desarrolla prácticas agropecuarias o alguna actividad con animales como la pequeña ganadería. Teniendo en cuenta esto, se observa que desde las mismas comunidades se están dando iniciativas, que son impulsadas por la necesidad de tener acceso al agua y que mejor opción que el agua subterránea que tienen cercana a sus poblaciones, se destaca que además de realizar esto, estas comunidades también promueven prácticas adecuadas para la sostenibilidad y el uso adecuado de los bienes materiales y naturales, la intrínseca relación entre las condiciones ambientales y la satisfacción de las necesidades básicas de las comunidades.

A pesar de que se han creado normativas ambientales para el control de las captaciones de aguas subterráneas, como la ley 99 de 1993 que crea la licencia ambiental para la gestión y



planificación del recurso así como para mitigar los efectos ambientales, existen ciertas falencias al momento de aplicarlas, pues en ellas se encuentran ambigüedades como por ejemplo, respecto a las características de usuarios, modos de usos y condiciones técnicas para definir la autorización del beneficio del recurso, lo que conlleva a que no haya un registro real del número de puntos de agua subterránea, así como tampoco un control sistémico que garantice la sostenibilidad del recurso.

Cabe mencionar que en Colombia se viene desarrollando una medida para regular el recurso hídrico del país, tal como es la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) del 2010, la cual busca hacer un seguimiento al recurso para así establecer los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años. A través de esta política, se han identificado las situaciones o problemas asociadas a las aguas subterráneas como lo son:

- a) En la actualidad se presenta una proliferación de ejecución de proyectos de infraestructura y de desarrollo económico (mineros, petroleros, agrícolas,) en zonas estratégicas para la conservación del recurso hídrico y la protección de cuencas.
- b) Los grandes asentamientos humanos y los polos de desarrollo industrial, agrícola, pecuario e hidroenergético en el país, se han dado en regiones donde la oferta hídrica es menos favorable, lo que ha generado presiones sobre el recurso y señales preocupantes por los problemas de disponibilidad de agua en algunos municipios y áreas urbanas, en especial, durante periodos con condiciones climáticas extremas, como las épocas secas y aquellas con presencia del fenómeno cálido del Pacífico (El Niño).
- c) Existe un gran número de usuarios de hecho del recurso hídrico (no legalizados), lo que no permite tener un control y administración adecuados de los cuerpos de agua, desconociéndose los volúmenes de agua captados, el uso dado al recurso y las cargas contaminantes vertidos resultantes.
- d) Falta de información y de acciones para disminuir vulnerabilidad a los riesgos relacionados con la calidad del recurso.



- e) Bajo nivel de conocimiento y poca información que apoye la toma de decisiones en la planificación del recurso agua
- f) Bajo conocimiento del potencial hidrogeológico del país.
- g) Poca información y conocimiento para el manejo y reglamentación de las aguas subterráneas.
- h) Necesidad de articular las normas e instrumentos existentes para la gestión integral del recurso hídrico.
- i) Falta de reglamentación en temas específicos como mares y costas, reúso de aguas residuales tratadas y recarga de acuíferos.
- j) Necesidad de fortalecer la coordinación entre el MADS y las autoridades ambientales, y de este con los demás ministerios y otras instituciones que a nivel nacional tienen incidencia sobre la gestión del recurso hídrico (IDEAM, 2015C).

Para el caso particular de la región Caribe luego del análisis realizado, se puede decir que las principales acciones a regular son de las acciones encaminadas al control de usuarios, a reunir información, a planificar, reglamentar y lo más importante enfocadas a fortalecer la coordinación entre el MADS y las autoridades ambientales.

La cantidad de agua subterránea en la región es buena en relación a su uso como por ejemplo, en Cesar las reservas se han calculado cerca de los 220 millones de metros cúbicos, de los cuales se están usando 41.899.650,00. De metros cúbicos, sin embargo esta información debe actualizarse y tener en cuenta que un uso indebido puede llevar a sequías sectorizadas (CORPOCESAR, IDEAM, Cañas, & Armenta , 2009).

6.4.6 Análisis de Debilidades Oportunidades Fortalezas y Amenazas

Entrando ya a un análisis más detallado, con el análisis DOFA se permitió identificar las fortalezas y debilidades a nivel interno sobre el uso y manejo del agua subterránea en la región, y las oportunidades y amenazas a las que se enfrenta este recurso, como se ve en la *Tabla 5*.



Con base a esto se destaca que dentro de los puntos fuertes o fortalezas que posee el agua subterránea en la Región Caribe, están los grandes volúmenes de agua con los que se cuentan que se emplean como reservas durante las sequías, puesto que a veces se presentan veranos muy intensos que reducen las capacidades de las fuentes superficiales y las aguas subterráneas se vuelve un factor estratégico para el abastecimiento de las comunidades.

Otra fortaleza interna es la calidad con la que se encuentra el agua subterránea proveniente de los pozos profundos, que en su mayoría sus calidades son aptas para el consumo humano, la agricultura, entre otras de las actividades para las que es empleada a nivel regional; es probable que algunas requieran algunos químicos de purificación pero en poca proporción, como por ejemplo, el caso de las poblaciones de los Montes de María en Bolívar, que dadas las condiciones de la calidad del agua almacenada en el embalse de San José del Playón prefieren y se les es mejor utilizar el agua subterránea extraída mediante pozos (Corporación Desarrollo Sostenible, 2016).

Dentro de las debilidades encontradas en el uso y manejo de este recurso en la región Caribe Colombiana, se encuentran mayormente a nivel institucional y/o gubernamental respecto a la gestión del recurso, existe poca presencia del estado, no se le realizan seguimientos al comportamiento de los acuíferos, son aislados los estudios y en otros casos son de carácter privados como por ejemplo, en el Departamento del Cesar se requería incrementar el uso minero del suelo y para esto fue que realizaron un estudio entre los años 1995-2000. También cabe mencionar que aquellos estudios que se realizan y no son aprovechados de manera intensiva, son aprovechados por los campesinos para suplir sus necesidades de abastecimiento doméstico. Con el fin de garantizar una correcta gestión del recurso hídrico subterráneo se hace necesario invertir en estudios periódicos y actualizados para mejorar su aprovechamiento, dichos estudios son costosos y el estado presenta bajas inversiones para tal propósito, contando así con estudios insuficientes y desactualizados. Los estudios e informes encontrados datan de 1997-2007 en los departamentos de la región, a excepción de La Guajira que el informe suministrado por CORPOGUAJIRA está más actualizado (2013); lo que conlleva a una discontinuidad en el seguimiento a nivel temporal del estado del agua subterránea. Una vez más el estado presenta debilidades para la gestión del recurso.



Desde el ámbito externo como lo son las oportunidades aprovechables, se encontró el desarrollo de comunidades conscientes de la importancia que tiene el agua subterránea y del uso de esta como forma de abastecimiento, principalmente en aquellas comunidades que no tienen acceso al agua y que está tomando impulso en los municipios de la Región Caribe, en Bolívar este movimiento es impulsado por la Corporación Desarrollo Sostenible, quienes se encargan de evaluar el agua para así utilizarla y además, enseñar a sus comunidades a preservar el recurso hídrico. Otra oportunidad es la existencia de grupos de investigación en universidades enfocados en el estudio del comportamiento de este elemento como por ejemplo, la Universidad de La Guajira en Riohacha que realiza estudios en colaboración con la Corporación de La Guajira, la Universidad de Antioquia de acuerdo a CARSUCRE y el grupo de investigación de modelación ambiental(GIMA) en la Universidad de Cartagena, Bolívar, la Universidad de Ryerson en asociación con la Universidad de Cartagena, esta oportunidad tendrá mejores frutos cuando estos estudios estén enfocados en la región Caribe en general.

Como elemento aprovechable se encuentra el Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB) iniciado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), entre otros, este programa se constituye en un instrumento de articulación interinstitucional que busca apoyar el diseño y la promoción de las estrategias del nivel nacional y regional que garanticen una adecuada evaluación y gestión del agua subterránea en Colombia en el marco de la PNGIRH. Actualmente este programa desarrolla un proyecto piloto para la gestión del agua subterránea en la Orinoquia Colombiana, se considera fundamental la aplicación de este en la región Caribe Colombiana.

Por otra parte del aspecto externo, las amenazas en el manejo del uso del agua subterránea son: la explotación de canteras o minas debido a que usualmente las zonas donde está el área de recarga del acuífero se encuentra sobre suelos con gran potencial minero. Las contaminaciones dadas por las acciones antrópicas como lo son: los asentamientos humanos, casi nulos sistemas de recolección de aguas residuales y basureros satélites, cercas de las zonas de recargas o ubicación de los pozos, aljibes y manantiales, que crean una alta



vulnerabilidad de este recurso subterráneo y pone en peligro zonas de valor ecológico como lo son las microcuencas. Esta es una amenaza muy crítica puesto que la contaminación del agua subterránea es más difícil de detectar que la del agua superficial debido a que no está visible, ocasionando que el contaminante dure más en el medio, una vez detectada es posible que haya afectado una parte significativa del acuífero. También se presenta la sobre explotación de pozos, debido a la alta demanda de agua y esto genera que se alteren los descensos de los niveles piezométricos, además de que en las zonas más cercanas al mar se puedan mezclar el agua salada del mar con el agua dulce del acuífero, conocido como intrusión o cuña salina.

Con respecto al cambio climático, no se encontró dentro de la literatura analizada que se esté tratando o enfrentando la influencia de este fenómeno en el proceso natural del agua subterránea, tampoco se están desarrollando acciones a nivel regional o nacional. Sin embargo, es importante conocer el efecto directo que tiene este fenómeno en el recurso hídrico subterráneo, por ejemplo cuando se presentan épocas de estiaje o sequías, es decir, en los cuerpos de aguas superficiales bajan los niveles del caudal, la opción más inmediata es la extracción del agua en los acuíferos, que en estas épocas tiende a aumentar y por consiguiente, afecta los patrones de recarga de este, que no serán igual por la alteración temporal de las lluvias, la humedad del suelo, entre otros factores que regulan la recarga del agua subterránea.

Cerrando estas amenazas se tiene la informalidad que se presenta en toda la región para manejar el recurso, estas acciones afectan directamente a la dinámica del cuerpo de agua subterráneo, creando así una situación que no garantiza la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo.



Tabla 5. Análisis DOFA del uso del agua subterránea en la región Caribe Colombiana

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
ANÁLISIS INTERNO	*El recurso subterráneo empleado como reserva estratégica durante épocas de sequías	*Deficiencias en la cobertura y accesibilidad a la información, por la dispersión de los datos lo que conlleva a procesos poco claros, heterogéneos o incompletos.
	*Fuentes de agua subterránea con una alta calidad natural para consumo humano entre otros usos	*Aprovechamiento poco amigable con el medio, porque no se aplican políticas de manejo sostenible del recurso subterráneo.
	*Bajo costo de adquisición y tratamiento del agua	*Escasa participación Institucional
	*Implementación de la Política Nacional para la Gestión integral del Recurso Hídrico (PNGIRH)	*Falta de Gobernabilidad o aplicación de la Gobernanza del agua subterránea para su gestión y sostenibilidad
		*Pocos estudios sobre el recurso en la región
		*Prácticas inadecuadas en el manejo del suelo por parte las comunidades (no se respeta el tipo de uso del suelo)
	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
ANÁLISIS EXTERNO	*Desarrollo del proyecto de protección integral de aguas subterránea por CARSUCRE en su jurisdicción para contribuir a la sostenibilidad de la oferta del AS	*Uso informal del recurso produciendo agotamiento sectorizado por efecto de la sobreexplotación de pozos
	*Investigaciones alrededor del recurso por Universidades	*Influencia del cambio climático, no se identifican medidas que estudien el efecto de este fenómeno en las AS
	*Corporaciones sostenibles que contribuyen e impulsan a cuidar del recurso subterráneo	*Afectación de la salud por consumo de aguas subterráneas contaminadas o con un mal tratamiento
	*Alternativa de desarrollo en zonas o poblaciones con deficiencia hídrica	*Intrusión salina
	*El Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB) aplicado a la región Caribe	*Contaminación de las fuentes por agroquímicos
		*Contaminación por prácticas agropecuarias
		*Fracking hidráulico

Fuente: Autores

Si bien en los últimos años se han logrado grandes avances en el conocimiento a nivel mundial sobre las aguas subterráneas, sus recursos y sistemas acuíferos, aún hay temas a profundizar, tales como el funcionamiento de los sistemas acuíferos, el creciente riesgo global de agotar las aguas subterráneas, contaminación y deterioro de la calidad del agua,



entre otros. Estos desafíos requieren de estudio e investigación exhaustiva, implementación de nuevas metodologías con base científica y un sistema de protección ambientalmente sólido de los recursos hídricos subterráneos (UNESCO, 2017). Teniendo en cuenta esto, se establece que el manejo del agua subterránea enfrenta un reto grande en cuanto a orden científico y técnico y mayores dificultades políticas y administrativas.

6.5 INDICADORES SOCIALES Y AMBIENTALES SOBRE EL USO DEL AGUA EN LA REGIÓN CARIBE

Como parte de los indicadores ambientales que permitan saber la dinámica del agua subterránea en la región Caribe Colombiana se tiene un índice de aridez entre moderado a altamente deficitario, por lo tanto, es de esperarse que gran parte de los centros urbanos y rurales utilicen el agua subterránea como fuente alterna de abastecimiento. En algunos casos ésta se constituye como la única fuente de abastecimiento. En este sentido, se tiene que los Sistemas Acuíferos de la Alta y Media Guajira, Ranchería, Santa Marta, Turbaco, Ariguaní, Cesar, Morroa, entre otros deben ser interés prioritario para aumentar el conocimiento sobre la dinámica y el funcionamiento de los mismos (IDEAM, 2015). Los departamentos que dependen totalmente del recurso hídrico subterráneo son Sucre y La Guajira, y de forma parcial Magdalena, gran parte de Cesar, una parte de Córdoba, y una pequeña parte de Bolívar, dada esta dependencia, para algunos departamentos es más importante estudiar el recurso que en otros, comprobándose esto en trabajos aislados que no permiten un uso integral del recurso, ni un manejo sostenible del mismo. Observándose un atraso social completo como en el caso de La Guajira, que aunque el principal uso del agua sea para consumo humano, la prioridad en infraestructura no es para este uso, si no que por el contrario se le atribuye al uso agropecuario y minero, evidenciando el olvido que se le tiene a la propia población.

Por otro lado se tiene que los municipios más pobres de cada departamento guardan una estrecha relación con el agua subterránea, pues no tienen un sistema de acueducto definido y



mucho menos de saneamiento, y las formas de captar el agua en su mayoría se realiza sin estudios previos (informalidad), conllevando esto a un atraso mayor y a un alejamiento a la sostenibilidad del recurso.

Un elemento que también influye en el uso del agua subterránea, es el uso de la tierra en las zonas aportantes, es decir las actividades que se desarrollen en el suelo, estas pueden o no afectar el mantenimiento en la recarga de los acuíferos, a pesar de que existen leyes para zonificar el uso de la tierra, los dueños de propiedades no tienen en cuenta estas políticas regionales.

El estado no garantiza que los puntos de captaciones sean amigables con el recurso hídrico y mucho menos que no existan contaminaciones que alteren la dinámica de los acuíferos.



6.6 INDICE DE SOSTENIBILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN CARIBE

Para llegar por primera vez a este índice en la Región Caribe Colombiana se siguió la metodología descrita anteriormente. Como esta región se compone de los departamentos escogidos (Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena y Sucre) para esta investigación más el Atlántico, se escogió a cuatro expertos de la manera más representativa posible, quienes determinaron los valores a tener en cuenta en algunos de los departamentos de la región (Tabla 6), los no escogidos están en los puntos medios por lo tanto ya estarán incluidos dentro del índice. Cada encuesta fue revisada y posteriormente se realizó un promedio por cada componente para finalmente obtener el siguiente índice de infraestructura de sostenibilidad. Los expertos escogidos fueron los siguientes: Ing. Jorge Corrales, Enrique Núñez, Gustavo Calderón y el Ing. Héctor Herrera en su mayoría trabajan en las CAR de la región Caribe Colombiana.

Tabla 6. Pesos atribuidos a cada departamento de la región Caribe Colombiana por expertos

PESOS ATRIBUIDOS POR EXPERTOS EN CADA DEPARTAMENTO DE LA REGIÓN CARIBE COLOMBIANA								
INDICE GSII	COMPONENTE	INDICADOR	BOLIVAR	MAGDALENA	SUCRE	CESAR	LA GUAJIRA	
	1. MONITOREO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (GWM)	1.1 Nivel del agua subterránea		0,25	0,25	0,75	0,75	0,75
		1.2 Extracción del agua subterránea		0,75	0,25	0,75	0,75	0,5
		1.3 Calidad del agua subterránea		0,5	0,75	0,75	0,5	0,5
	2. GENERACIÓN Y DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO (KGD)	2.1 Generación de conocimiento		0,5	0,25	0,5	0,25	0,25
		2.2 Conocimientos/datos CSM		0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
		2.3 Dispositivo para KID		0,25	0	0,25	0,25	0,25
	3. INVENCIÓNES REGLAMENTARIAS (REL)	3.1 Licencia del agua subterránea		0,75	0,25	0,75	0,75	0,5
		3.2 Instrumentos económicos		0,75	0	0,5	0,25	0,5
	4. PARTICIPACIÓN PÚBLICA (PUP)	4.1 Conciencia		0	0,75	0,25	0,25	0,25
		4.2 Interés por participar		0,25	0	0,25	0	0
		4.3 Disponibilidad del mecanismo		0,25	0	0,25	0,25	0,25
	5. RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL (INR)	5.1 Disponibilidad de la autoridad		0,75	0,25	0,75	0,75	0,5
		5.2 Marco legal		0,75	0,25	0,75	0,5	0,5
		5.3 Capacidad institucional		0,25	0	0,5	0,5	0,5

Fuente: Autores

$$\text{Índice de infraestructura de sostenibilidad: } GSII = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{0.58+0.312+0.5+0.19+0.49}{5} = 0,41$$

En la Tabla 7 se especifica los indicadores que estaban al inicio de la investigación y los que se definieron finalmente durante el proceso de encuestas:



Tabla 7. Ajuste de indicadores para análisis del índice GSII

INDICADORES	INDICADORES ANTERIORES	Razón de cambio sugerencia expertos
1.1 Nivel del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	
1.2 Extracción del agua subterránea	1.2 Extracción del agua subterránea	
1.3 Calidad del agua subterránea	1.3 Calidad del agua subterránea	
2.1 Generación de conocimiento	1.4 Subsistencia de la tierra	Esta situación no se ve en la región
2.2 Conocimientos/datos CSM	2.1 Generación de conocimiento	
2.3 Dispositivo para KID	2.2 Conocimientos/datos CSM	
3.1 Licencia del agua subterránea	2.3 Dispositivo para KID	
3.2 Instrumentos económicos	3.1 Derechos del agua subterránea	El subsuelo pertenece al Estado
4.1 Conciencia	3.2 Licencia del agua subterránea	
4.2 Interés por participar	3.3 Instrumentos económicos	
4.3 Disponibilidad del mecanismo	4.1 Conciencia	
5.1 Disponibilidad de la autoridad	4.2 Interés por participar	
5.2 Marco legal	4.3 Disponibilidad del mecanismo	
5.3 Capacidad institucional	5.1 Disponibilidad de la autoridad	
	5.2 Marco legal	
	5.3 Capacidad institucional	

De acuerdo a las fuentes de información consultadas, se hace una apreciación objetiva de los indicadores y componentes del índice de sostenibilidad arrojando así en escala de 0 a 10 en qué situación se encuentran cada departamento.

Tabla 8. Pesos comparativos para cada departamento de la región Caribe. Fuente: Autores

PESOS COMPARATIVOS EN CADA DEPARTAMENTO DE LA REGIÓN CARIBE COLOMBIANA LUEGO DE RECOPIAR TODA LA INFORMACIÓN							
COMPONENTE	INDICADOR	BOLÍVAR	MAGDALENA	SUCRE	CESAR	LA GUAJIRA	DESCRIPCIÓN
1. MONITOREO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (GWM)	1.1 Nivel del agua subterránea						El agua subterránea de estos departamentos es muy buena, varía de un departamento a otro la forma como se maneja su extracción.
	1.2 Extracción del agua subterránea	8	5	10	8	7	
	1.3 Calidad del agua subterránea						
2. GENERACIÓN Y DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO (KGD)	2.1 Generación de conocimiento						En cuanto a estudios y generación de conocimiento, sucre sobre sale por cantidad y calidad de sus estudios.
	2.2 Conocimientos/datos CSM	6	5	10	5	6	
	2.3 Dispositivo para KID						
3. INVERSIONES REGLAMENTARIAS (REL)	3.1 Licencia del agua subterránea						En términos de invenciones reglamentarias, se ve una presencia moderada del estado, les falta ser más contundentes para asegurar un uso sostenible del recurso.
	3.2 Instrumentos económicos	7	7	7	7	7	
4. PARTICIPACIÓN PÚBLICA (PUP)	4.1 Conciencia						En toda la región se observa una pobre participación pública, el conocimiento juega un papel fundamental, como ya se sabe en sucre hay mejor conocimiento por tanto aumenta el interés, pero sigue siendo muy bajo y/o débil.
	4.2 Interés por participar						
	4.3 Disponibilidad del mecanismo	2	2	4	3	2	
5. RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL (INR)	5.1 Disponibilidad de la autoridad						Una de las principales fallas encontradas a lo largo de la investigación, es la capacidad institucional. En cuanto a marco legal los departamentos cuentan con una buena base.
	5.2 Marco legal	7	5	8	7	6	
	5.3 Capacidad institucional						



El valor encontrado del índice representa cuantitativamente toda la investigación y análisis realizado con la información encontrada, reflejando así primero el atraso de los avances científicos descrito en ítem 6.2 del presente trabajo, luego las debilidades y amenazas encontradas guardan estrecha relación con los índices más bajos de la región Caribe colombiana; Siendo castigada así la sostenibilidad del recurso más que todo en la parte institucional y en la participación pública. Es muy importante reconocer que la calidad y cantidad del recurso en la región en general es muy bueno, pero en cuanto a manejo sostenible se encuentra una debilidad completa GSII: 0,41, mostrando así que la sostenibilidad no es aislada si no un conjunto de componente, y como tal se le debe dar la misma prioridad a todos si se quiere lograr un uso sostenible del recurso. Se requiere que haya más participación del Estado para que fortalezca su actuación en cuanto a estos temas, para así garantizar un uso sostenible del agua subterránea y una mayor prolongación de sus beneficios.

Los componentes más bajos fueron los siguientes: Generación y difusión de conocimiento (KgD), Participación pública (PuP) y Responsabilidad institucional (InR), valorados del más bajo al menos bajo. De acuerdo a esto, se trae a colación los puntos más importantes para la sostenibilidad de acuerdo a los otros cuatro (4) expertos entrevistados Ing. Edgar Quiñones, Ing. Guilliam Barboza, Ing. Alfonso Arrieta, Ing. Javier Mouthon: Monitoreo del agua subterránea (GwM), Responsabilidad Institucional (InR) y Participación pública (PuP), del más importante al menos importante. Se puede observar que la región está fallando en dos (2) de los tres (3) más importantes para la sostenibilidad, esto deja claro que la región no está en armonía con respecto a la explotación del recurso con el medio ambiente.

Analizando individualmente los índices por departamentos, se encuentra que el Departamento de Sucre está en mejores términos en cuanto a sostenibilidad respecto a los demás departamentos de la región, esto es debido al buen uso, manejo y aprovechamiento dado a la dependencia que se tiene de este recurso con un índice de

$$\text{Índice de infraestructura de sostenibilidad: } GSII = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{0.75+0.41+0.625+0.25+0.66}{5} = 0,54$$



7. CONCLUSIÓN

En la región Caribe Colombiana estudiada de forma general, se pudo visualizar el gran potencial que presenta la región en recursos hídricos subterráneos en cuanto a calidad y cantidad, departamentos como Sucre y Bolívar tienen mejores condiciones, sin dejar de reconocer el potencial de los demás departamentos de dicha región. Los recursos en esta zona de estudio requieren una política de sostenibilidad seria para lograr la mayor armonía entre el ambiente y el uso del recurso, así como también estudios detallados y actualizados y seguimientos a los actuales puntos de captación que garanticen la correcta extracción del agua subterránea.

Esta región presenta un déficit de información disponible, pues los estudios hallados y encontrados no están actualizados y evidencian la poca presencia administrativa y la falta de control en las formas de extracción, de cuantificación y actualización de puntos de captación, estos aspectos contenidos en el índice de sostenibilidad deja a la región ubicada en un rango menor al aceptable, es decir, se ve reflejado el uso poco sostenible que se le da al recurso.

En materia de sostenibilidad se obtuvo un índice de infraestructura de sostenibilidad de 0,41, como se mencionó en el párrafo anterior, entrando en la categoría de pobre con tendencia a aceptable, este índice hallado por primera vez para la región muestra que la sostenibilidad está muy alejada del potencial que tiene el recurso en esta región, por lo tanto es necesario crear normas que promuevan el uso integral del agua subterránea.

En cuanto a las prácticas que se adelantan de forma global en la región Caribe para el conocimiento y manejo de las aguas subterráneas se presenta un atraso en comparación a otros países del mundo, teniendo en cuenta lo encontrado en el numeral 6.3 de este documento. A pesar de contar con zonas acuíferas de las que dependen poblaciones, en su mayoría las investigaciones van encaminadas en estudiar la calidad fisicoquímica del agua subterránea, pero no ¿cómo se está usando y/o explotando este recurso?, ni tampoco se está considerando el impacto que puede generar el cambio climático en el proceso natural de recarga de los acuíferos. Cabe resaltar también que estos atrasos son a nivel general, pues



Latinoamérica presenta una desventaja en investigaciones sobre este recurso de acuerdo a las fuentes consultadas.

Queda demostrado que la gobernanza es un factor fundamental para fortalecer el manejo sostenible del agua subterránea, permitiendo que se dé un uso armónico entre las aguas superficiales y subterráneas, tendiendo a la preservación del recurso y del ambiente y se tengan políticas entre la demanda y la reserva del recurso hídrico, que se plantean las necesidades y soluciones alrededor del tema.

Con este trabajo de grado se contribuyó a un primer acercamiento de forma global de la región Caribe Colombiana en cuanto a la sostenibilidad de su recurso hídrico subterráneo, mostrando como se encuentra su estado tanto a nivel departamental como a nivel internacional en materia del manejo armónico del agua subterránea. Así mismo con este análisis se tiene una herramienta que permite crear los principales puntos de atención de las necesidades de la región estudiada, como por ejemplo en la capacidad institucional, en la actualización y generación de conocimiento, los cuales son aspectos que bien se incluyen dentro las acciones a mejorar en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) del 2010, se espera que sean aplicadas en la región Caribe.



8. RECOMENDACIONES

A continuación se describen las limitaciones halladas en el desarrollo del proyecto y las recomendaciones:

8.1 Limitaciones

El proyecto realizado buscaba hacer un análisis o diagnóstico del uso y manejo del agua subterránea en la región Caribe Colombiana, para esto era necesario conocer las últimas investigaciones referentes al agua subterránea, así como de forma complementaria la realización de entrevistas para conocer las prácticas en campo de extracción y uso del recurso, estas entrevistas fueron una de las limitaciones presentadas, pues era complicado acceder a todos los usuarios del recurso, así mismo el tiempo de permanencia durante las visitas. Otra limitante es la fecha de los informes y estudios encontrados en las universidades y Cars que en su mayoría eran antiguos.

8.2 Recomendaciones

- Actualizar inventario de pozos tanto legales como ilegales de la Región Caribe Colombiana, este es el primer paso para establecer acciones en cuanto a sostenibilidad.
- Luego de este gran inventario, realizar estudios en conjunto de las dinámicas de los acuíferos, y ver como se ven afectados por las extracciones que se les realizan.
- Proteger y alejar las áreas de explotación de la zona de descarga regional para disminuir las posibilidades de contaminación y salinización.
- Se recomienda seguir con políticas de países como la de Canadá o México, en las que lo que prima es la armonía del recurso hídrico subterráneo y de todos los actores involucrados, es así como realmente se llegará a una verdadera sostenibilidad del recurso.
- Para tener un buen conocimiento del uso y manejo del agua subterránea así como su sostenibilidad a nivel de la Región Caribe y del país, es necesario que se realicen



monitoreos constantemente sobre la cantidad y calidad del agua subterránea, para que los proyectos a realizar sean con informaciones de calidad y actualizados, además que permitan mejorar la planeación y protección del recurso.

- Se recomienda hacer este primer acercamiento a sostenibilidad en todo el país para tener bases de un problema real y es el uso no adecuado de este recurso hídrico. Y tomar este trabajo como guía, dado es que es primer análisis realizado en este aspecto de sostenibilidad en la región y más aún en el país.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuifers. (17 de Diciembre de 2011). *Acuifers-20112*. Recuperado el 2017, de <https://acuifers-20112.wikispaces.com/Explotaci%C3%B3n+del+Agua+Subterr%C3%A1nea+en+Colombia>
- Alcaldía Municipal . (2008). Plan de desarrollo Municipio de Chinú. Córdoba , Colombia . Recuperado el 2018, de <http://www.chinucordoba.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Plan%20de%20Desarrollo%20Municipal%202008%20-%202011.pdf>
- Barrera, R. (1995). Teledetección y geología de la plancha 62. Colomboy, Córdoba. Recuperado el 2018
- Blasarin, M., Degiovanni, S., & Frontera, H. (15 de Octubre de 2014). LA POTENCIALIDAD PARA USOS PRODUCTIVOS Y SOCIALES DE AGUAS SUBTERRANEAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA ES ALTA. Córdoba, Argentina. Recuperado el 2018, de http://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/68-aguas_subterraneas_Cordoba.pdf
- Carsucre. (Octubre de 2003). Estudio hidrogeológico del acuífero Morroa . *Proyecto de protección integral de aguas subterráneas PPIAS*. Sincelejo-Corozal-Morroa, Colombia. Recuperado el 2018, de <http://carsucre.gov.co/proyecto-de-proteccion-integral-de-aguas-subterraneas/>
- Carsucre. (2005). Revista PPIAS. *Proyecto de proteccion integral de aguas subterráneas* . Sincelejo. Recuperado el 2018
- CORPOCESAR, IDEAM, Cañas, H., & Armenta , J. (2009). CONVENIO 097-2003-06-2007. *Evaluacion del potencial del agua subterranea en los municipios de Curumani, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Gamarra, Aguachica, Rio de Oro, San Martin y San Alberto, Departamento del Cesar*. Departamento del Cesar, Colombia. Recuperado el 2018
- CORPOGUAJIRA. (2009). *Ministerio de Ambiente*. Recuperado el 2018, de Gestion Integral del Recurso Hidrico: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Panorama_del_manejo_de_aguas_subterr%C3%A1neas_en_el_pa%C3%ADs/Plan_de_Manejo_de_Aguas_Subterr%C3%A1neas_en_Maicao.pdf
- CORPOGUAJIRA, & Universidad de Antioquia . (Febrero de 2011). Modelo hidrogeológico y Sistema de información en la cuenca del río Ranchería. Medellín, Colombia. Recuperado el 2018
- CORPOMAG. (Abril de 2014). Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2013-2027. Magdalena. Recuperado el Abril de 2018, de <http://www.corpamag.gov.co/archivos/planes/PGAR%20CORPAMAG%202013-2027.pdf>



- Corporación Desarrollo Sostenible (Dirección). (2016). *EL CAMPO TIENE SED-Montes de María y su lucha por el derecho al agua* [Película]. Colombia. Recuperado el 2018, de http://www.cds.org.co/audiovisuales/#youtubepage_2/
- De Stefano, L. (s.f.). *Fundacion nueva cultura del agua*. Recuperado el Agosto de 2017, de <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/la-planificacion-y-gestion-del-agua-en-espana/el-uso-y-gestion-de-las-aguas-subterraneas>
- DNP, D. (2011). *Visión Magdalena 2032: Un mundo de oportunidades*. Santa Marta. Recuperado el 2018
- Dueñas, H., & Duque Caro, H. (1981). Geología del cuadrángulo F-8. *Boletín geol. Ingeominas*, 24, 1-35. Recuperado el 2018
- Ecointegral-Ltda, & CARDIQUE. (27 de Marzo de 2006). Elaboración del estudio hidrogeológico del Acuífero de Palenque. *Contrato de Consultoría No. 177 de 2005*. Colombia. Recuperado el 2018
- Foda, M. (s.f.). *Matriz Foda*. Recuperado el Septiembre de 2017, de <http://www.matrizfoda.com/dafo/>
- Foster, S., Garduño, H., Kemper, K., Tuhnhofer, A., Nanni, M., & Dumars, C. (2006). *Protección de la calidad del agua subterránea definición de estrategias y establecimiento de prioridades*. Resumen . Recuperado el 2018, de <http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486-1175813625542/A.pdf>
- Frappart, F., & Ramillien, G. (25 de Mayo de 2018). Monitoring Groundwater Storage Changes Using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Satellite Mission: A Review. *Remote Sensing*, 10(6). Recuperado el 2018, de <http://www.mdpi.com/2072-4292/10/6/829/htm>
- Gamez Ramos, I. (Mayo de 2017). *El Heraldo*. Recuperado el 2017, de <https://www.elheraldo.co/laguajira/hacen-el-mapa-del-agua-subterranea-en-la-guajira-343631>
- Gobernación de Bolívar. (Octubre de 2014). Proyecto de investigación e innovación tecnológica para la gestión del riesgo en el departamento de Bolívar asociado a eventos sísmicos, movimientos en masa, diapirismo de lodo y uso inadecuado del agua subterránea. Bolívar. Recuperado el Agosto de 2017
- Gomez Blanco, L. E., & CARDIQUE. (Enero de 2006). Contrato N°184 de 2005. Elaboración del Estudio Hidrogeológico y Determinación del potencial hídrico del área correspondiente al acuífero de Turbaco. *Informe*. Cartagena D.T y C., Colombia. Recuperado el 2018
- Hatch Kuri, G., & Carrillo Rivera, J. J. (1 de Julio de 2017). ¿Qué hacer con el agua subterránea? *Nexos*. Recuperado el 2018, de <https://www.nexos.com.mx/?p=32765>



- Herrera Ibañez, I. R., Orozco y Orozco, E., & Mujica Cervantes, A. (2011). Estrategia para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en una zona semiárida de Guatemala. *Ciencias técnicas Agropecuarias*, 20(3), 8. Recuperado el Septiembre de 2017
- Hidrogeólogos Asociados Ltda, & CARDIQUE. (1998). Contrato N° 377-97. Colombia. Recuperado el 2018
- Hidrogeólogos Asociados Ltda; CARDIQUE. (17 de Marzo de 2000). Modelo Numérico Hidrogeológico del Acuífero de Arroyo Grande Bolívar. Colombia. Recuperado el 2018
- Hoogesteger, J., & Wester, P. (Agosto de 2015). Intensive groundwater use and (in) equity: Processes and governance challenges. *Environmental Science and Policy*, 51(2003), 117-124. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.004>
- IDEAM. (2013). *Aguas Subterráneas en Colombia Una Visión General*. Bogotá D.C, Colombia. Recuperado el Julio de 2017
- Ideam. (2014). Anexo 4. Síntesis de sistemas acuíferos y aguas subterráneas frente a indicadores. *Estudio Nacional del agua*. Colombia. Recuperado el 2018, de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/Anexo_4.pdf
- IDEAM. (2014). *Atlas Interactivo IDEAM*. Recuperado el 2018, de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Precipitacion_Anual.pdf
- Ideam. (Agosto de 2015). *Documentación Ideam*. Recuperado el 2018, de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/Anexo_4.pdf
- IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá D.C, Colombia.
- IDEAM. (11 de Agosto de 2015A). *Estudio nacional del agua: información para la toma de decisiones*. Recuperado el Julio de 2017, de http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones
- IDEAM. (2015B). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá D.C. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- IDEAM. (Diciembre de 2015C). Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas en Colombia: Contenidos del taller de formación. Bogotá, Colombia. Recuperado el 2018, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023541/Principios.pdf>
- INGEOMINAS. (1995). Evaluación del agua subterránea del Departamento del Cesar. Bogotá. Recuperado el 2018
- INGEOMINAS. (2004). Programa de exploración de Aguas Subterráneas. Bogotá, Colombia. Recuperado el Julio de 2017, de <https://www2.sgc.gov.co/getattachment/92fd1dc3-e4a6-4450-96b5-b19abf276144/Programa-exploracion-aguas-subterranas.aspx>



- INGEOMINAS. (Febrero de 2004). PROYECTO EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN MAPA HIDROGEOLOGICO DE CÓRDOBA. Bogota, Colombia. Recuperado el 2018
- Jimenez, C. M. (16 de Septiembre de 2014). ¿Desapareceran acuíferos en el Cesar? *El pilón*. Recuperado el 2017, de <http://elpilon.com.co/desapareceran-acuiferos-en-el-cesar/>
- Kaunda, D. (16 de Mayo de 2018). As wells dry, Zambia regulates use of groundwater. (J. Baer, & L. Goering, Edits.) *Thomson Reuters Foundation*. Recuperado el 2018, de <https://af.reuters.com/article/topNews/idAFKCN1J00XT-OZATP>
- Kruse E, E. (Agosto de 2015). Uso del agua subterranea y desarrollo sostenible. Argentina. Recuperado el Septiembre de 2017
- MADS, CORPOGUAJIRA, & Universidad de Antioquia. (Diciembre de 2013). PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFERO-PMAA- CUENCA DEL RIO RANCHERIA. Colombia. Recuperado el 2018
- MinAmbiente. (2018). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 2018, de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/78-ministerio>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (16 de Enero de 2014). *Minambiente*. Recuperado el 2018, de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico#documentos-de-inter%C3%A9s>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014B). *Minambiente*. Recuperado el 2018, de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/acuiferos/programa-nacional-de-aguas-subterranas#documentos-de-inter%C3%A9s>
- Ministerio de vivienda y desarrollo sostenible. (2012). Decreto 1640 de 2012. Bogota D.C. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf
- Mis, M. (16 de Noviembre de 2015). *Reuters*. (P. Avila, Ed.) Recuperado el 2018, de Reuters: <https://lta.reuters.com/article/worldNews/idLTAKCN0T52G520151116>
- Montano, J. (Octubre de 2017). *Lifeder*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/clima-region-caribe/>
- Organización Meteorológica Mundial. (2012). Glosario Hidrologico Internacional. En O. M. Mundial, *Glosario Hidrologico Internacional* (pág. 395). Suiza. Recuperado el 2018, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862M.pdf>
- Pandey, V., Shrestha, S., Chapagain, S., & Kazama, F. (2011). A framework for measuring groundwater sustainability. *Environmental Science & Policy*, 14(4), 396-407. Obtenido de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462901111000426>



- Peña, L. M. (9 de Julio de 2016). Nueva politica para explotacion de acuíferos. *Noticias radio rodadero*. Recuperado el 2017, de <http://radiomagdalena1420am.com/nueva-politica-para-explotacion-de-acuíferos/>
- Peralta, J., Castillo, R. g., Dapeña, C., Valdez, L., OLivera, J., & Morejon, Y. (Enero de 2015). Hidrología isotópica, herramienta nuclear para la gestión sostenible del recurso hídrico. *SciELO*, 36(1). Recuperado el 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000100005
- Programa Hidrologico Internacional. (Noviembre de 2015). Aguas Subterranas y Cambio Climatico. Pequeños Estados Insulares en Desarrollo. 16. Recuperado el 2017, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002428/242861s.pdf>
- Reyes Echeverria, A. (24 de Septiembre de 2009). *Gestiopolis*. Recuperado el Septiembre de 2017, de <https://www.gestiopolis.com/matriz-dofa-metodologia-para-su-construccion-y-analisis/>
- Rodriguez, C. (8 de Febrero de 2009). El Agua Subterránea, un tesoro perdido. *UN Periodico impreso N°119*. Recuperado el Julio de 2017, de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/el-agua-subterránea-un-tesoro-enterrado.html>
- Rodriguez, C. I. (Marzo de 2014). Evaluacion ambiental del uso y gestion del agua subterránea en el partido de Tandil. Argentina .
- Rodríguez, C. O. (2002). *El agua como eje temático de las ciencias naturales*. . Recuperado el Julio de 2017, de http://www.unperiodico.unal.edu.co/vpp/article/el-agua-subterránea-un-tesoro-enterrado.html?TB_iframe=true&height=600&width=690
- Rodriguez; Vargas; Jaramillo; Piñeros;Cañas. (2010). Oferta y Uso de Agua Subterránea en Colombia. En C. Rodriguez, N. Vargas, O. Jaramillo, A. Piñeros, & H. Cañas, *Estudio Nacional del agua* (págs. 112-168). Colombia. Recuperado el 2017, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP4.pdf>
- Secretaria Distrital de Ambiente Bogota. (Febrero de 2015). *Ambiente Bogota* . (Alcaldía Mayor de Bogota) Recuperado el Julio de 2017, de <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterranas>
- Siddiqi, Y. (19 de Marzo de 2017). ¿Adónde se ha ido toda el agua? *La Nacion*. Recuperado el 2018, de <https://www.nacion.com/opinion/foros/adonde-se-ha-ido-toda-el-agua/VD33DHR7SRFHJNFR24MYEOGAZE/story/>
- SIRH. (2014). *Sistema de Informacion del Recurso Hidrico*. Recuperado el Septiembre de 2017, de http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/agua_subterránea-n3.html
- Sistema Geologico Colombiano. (2017). *Geoportal*. Recuperado el 2017, de <http://geoportal.sgc.gov.co/Flexviewer/PEXAS/>
- Toda Colombia. (1 de Enero de 2015). *Toda Colombia*. Obtenido de <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/sucre.html>



- UNESCO. (2006). *2° informe sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos del Mundo: El agua una responsabilidad compartida*. Obtenido de www.unesdoc.unesco.org/images0014/001144409s.pdf
- UNESCO. (2014). *Unesco*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/agua-subterranea>
- UNESCO. (2017). *Unesco.Org*. Recuperado el 2018, de <http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/natural-sciences/water-international-hydrological-programme/aguas-subterraneas/>
- UNESCO, P. M. (2012). *UNESCO*. Obtenido de Sitio web de la UNESCO: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Background%20Briefing%20Note_SP.pdf
- Universidad de Antioquia, CORPOGUAJIRA, & MinAmbiente. (Diciembre de 2013). Plan de Manejo Ambiental de Acuífero-PMAA-Cuenca del río Ranchería. Colombia. Recuperado el 2018
- Urrea, D., & Ines, C. (12 de Septiembre de 2014). Conflictos socio-ambientales por el agua en la Guajira. *Semillas*. Recuperado el 2017, de <http://www.semillas.org.co/es/revista/conflictos-socio-ambientales-por-el-agua-en-la-guajira>
- Valentin, A., & Spangenberg, J. H. (Junio de 2000). A Guide to Community sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(3), 381-392. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/222659724_A_guide_to_community_sustainability_indicators
- Wester, P. (2008). *Shedding the Waters: Institutional Change and water control in Lerma-Chapala Basin, Mexico*.



ANEXOS

Anexo 1. Entrevista a profesional en el Departamento de Bolívar

Nombre del entrevistado	Javier Mouthon Bello	Fecha: Abril 2018	
Cargo	Ing. Civil Msc, Ph.D		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	1
		1.2 Extracción del agua subterránea	0.75
		1.3 Calidad del agua subterránea	0.5
		1.4 Subsistencia de la tierra	0.25
2. Generación y difusión del conocimiento(KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	1
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0.5
		2.3 Dispositivo para KID	0.5
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Derechos de agua subterránea	0.25
		3.2 Licencia de agua subterránea	0.5
		3.3 Instrumentos económicos	0.25
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	0.5
		4.2 Interés por participar	0.5
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	1
5. Responsabilidad institucionalidad (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	0.75
		5.2 Marco legal	0.5
		5.3 Capacidad institucional	1

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno.
 "CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID es conocimiento integración y esparcimiento.



Anexo 2. Entrevista a profesional en el Departamento de Bolívar

Nombre del entrevistado	Guilliam Barboza	Fecha: Abril 2018	
Cargo	Ing. Civil Msc Geotecnia		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	1
		1.2 Extracción del agua subterránea	0.75
		1.3 Calidad del agua subterránea	1
		1.4 Subsistencia de la tierra	0.5
2. Generación y difusión del conocimiento(KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	1
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0.75
		2.3 Dispositivo para KID	0.75
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Derechos de agua subterránea	1
		3.2 Licencia de agua subterránea	0.75
		3.3 Instrumentos económicos	0.5
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	1
		4.2 Interés por participar	0.75
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	0.75
5. Responsabilidad institucionalidad (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	0.75
		5.2 Marco legal	1
		5.3 Capacidad institucional	0.5

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno.
 "CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID es conocimiento integración y esparcimiento.



Anexo 3. Entrevista a profesional en el Departamento de Bolívar

Nombre del entrevistado	Edgar Quiñones Bolaños	Fecha: Abril 2018	
Cargo	Ing. Civil Msc, Ph.D		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	1
		1.2 Extracción del agua subterránea	0.75
		1.3 Calidad del agua subterránea	1
		1.4 Subsistencia de la tierra	0.5
2. Generación y difusión del conocimiento(KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	0.75
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0.5
		2.3 Dispositivo para KID	0.5
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Derechos de agua subterránea	0.75
		3.2 Licencia de agua subterránea	0.5
		3.3 Instrumentos económicos	0.75
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	0.75
		4.2 Interés por participar	0.75
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	0.5
5. Responsabilidad institucionalidad (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	0.75
		5.2 Marco legal	1
		5.3 Capacidad institucional	0.75

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno.
 "CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID es conocimiento integración y esparcimiento.



Anexo 4. Entrevista a profesional en el Departamento del Magdalena

Nombre del entrevistado	Jorge Corrales	Fecha: 17 Abril 2018	
Cargo	Ing. Civil		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	0.25
		1.2 Extracción del agua subterránea	0.25
		1.3 Calidad del agua subterránea	0.75
2. Generación y difusión del conocimiento(KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	0.25
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0.25
		2.3 Dispositivo para KID	0
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Licencia de agua subterránea	0.25
		3.2 Instrumentos económicos	0
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	0.75
		4.2 Interés por participar	0
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	0
5. Responsabilidad institucional (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	0.25
		5.2 Marco legal	0.25
		5.3 Capacidad institucional	0

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno.
 "CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID es conocimiento integración y esparcimiento.



Anexo 5. Entrevista a profesional en el Departamento de Bolívar

Nombre del entrevistado	Gustavo Calderón	Fecha: Mayo 2018	
Cargo	Ing. Civil		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	0.25
		1.2 Extracción del agua subterránea	0.75
		1.3 Calidad del agua subterránea	0.5
2. Generación y difusión del conocimiento(KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	0.5
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0.5
		2.3 Dispositivo para KID	0.25
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Licencia de agua subterránea	0.75
		3.2 Instrumentos económicos	0.75
			0.75
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	0
		4.2 Interés por participar	0.25
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	0.25
5. Responsabilidad institucionalidad (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	0.75
		5.2 Marco legal	0.75
		5.3 Capacidad institucional	0.25

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno.
 "CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID es conocimiento integración y esparcimiento.



Anexo 6. Entrevista a profesional en el Departamento de Sucre

Nombre del entrevistado	Héctor M. Herrera	Fecha: Mayo 2018	
Cargo	Ing. Civil		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	0.75
		1.2 Extracción del agua subterránea	0.75
		1.3 Calidad del agua subterránea	0.75
2. Generación y difusión del conocimiento(KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	0.5
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0.5
		2.3 Dispositivo para KID	0.25
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Licencia de agua subterránea	0.75
		3.2 Instrumentos económicos	0.5
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	0.25
		4.2 Interés por participar	0.25
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	0.25
5. Responsabilidad institucional (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	0.75
		5.2 Marco legal	0.75
		5.3 Capacidad institucional	0.5

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno.
 "CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID es conocimiento integración y esparcimiento.



Anexo 7. Entrevista a profesional en el Departamento de Bolívar

Nombre del entrevistado	Alfonso Arrieta Pastrana	Fecha: Abril 2018	
Cargo	Ing. Civil MSc, Ph.D		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	1
		1.2 Extracción del agua subterránea	1
		1.3 Calidad del agua subterránea	1
		1.4 Subsistencia de la tierra	0.25
2. Generación y difusión del conocimiento(KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	0.75
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0.5
		2.3 Dispositivo para KID	0.5
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Derechos de agua subterránea	1
		3.2 Licencia de agua subterránea	0.75
		3.3 Instrumentos económicos	0.5
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	1
		4.2 Interés por participar	0.5
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	0.25
5. Responsabilidad institucionalidad (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	1
		5.2 Marco legal	0.5
		5.3 Capacidad institucional	1

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno.

"CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID es conocimiento integración y esparcimiento.



Anexo 8.

Nombre del entrevistado	Enrique Núñez	Fecha: Mayo 2018	
Cargo	CSB		
Índice de infraestructura de sostenibilidad del agua subterránea GSII			
Componente	Descripción	Indicadores	Peso
1. Monitoreo del agua subterránea (GwM)	GwM permite una comprensión de la disponibilidad de agua subterránea y los efectos antropogénicos en los recursos de agua subterránea. Si ayuda a proteger el medio ambiente del agua subterránea	1.1 Nivel del agua subterránea	0,75
		1.2 Extracción del agua subterránea	0,75
		1.3 Calidad del agua subterránea	0,5
2. Generación y difusión del conocimiento (KgD)	KgD ayuda a facilitar la evaluación, planificación y gestión de los recursos de agua subterránea. KgD también ayuda a construir una "confianza mutua" entre los interesados para archivar el objetivo de la sostenibilidad.	2.1 Generación de conocimiento	0,25
		2.2 Conocimiento/ datos CSM	0,5
		2.3 Dispositivo para KID	0,25
3. Inversiones reglamentarias (ReL)	ReL tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad través de intervenciones como licencias, tax/subsidio, negociación de derechos de aguas subterráneas, etc.	3.1 Licencia de agua subterránea	0,75
		3.2 Instrumentos económicos	0,25
4. Participación pública (PuP)	PuP ayuda a proteger el bienestar social a través del uso sostenible del recurso. Ayuda a tomar decisiones informadas, prevenir conflictos y maximizar los beneficios (sociales, económicos y técnicos)	4.1 Conciencia	0,25
		4.2 Interés por participar	0
		4.3 Disponibilidad del mecanismo	0,25
5. Responsabilidad institucional (InR)	InR con un mandato claro, suficientes recursos y un marco legal que aumenta la fortaleza del liderazgo institucional en la gestión del agua subterránea.	5.1 Disponibilidad de autoridad	0,75
		5.2 Marco legal	0,5
		5.3 Capacidad institucional	0,5

Peso en escala de 0 a 1, donde 0 muy pobre, 0.25 pobre, 0.5 aceptable, 0.75 bueno, 1 muy bueno. "CSM" es recopilación, almacenamiento y manejo; "KID" es conocimiento integración y esparcimiento.