

1-1-2013

Caracterización y consolidación de información hidrogeológica secundaria disponible de los sistemas acuíferos de la Región Andina de Occidente

Lizeth Yesenia Bustamante Porras
Universidad de La Salle, Bogotá

Yerson David Reyes López
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Bustamante Porras, L. Y., & Reyes López, Y. D. (2013). Caracterización y consolidación de información hidrogeológica secundaria disponible de los sistemas acuíferos de la Región Andina de Occidente. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/432

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**CARACTERIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN
HIDROGEOLÓGICA SECUNDARIA DISPONIBLE DE LOS SISTEMAS
ACUÍFEROS DE LA REGIÓN ANDINA DE OCCIDENTE**

LIZETH YESENIA BUSTAMANTE PORRAS

YERSON DAVID REYES LÓPEZ

Universidad de la Salle

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

BOGOTÁ D.C, 27 de septiembre de 2013

**CARACTERIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN
HIDROGEOLÓGICA SECUNDARIA DISPONIBLE DE LOS SISTEMAS
ACUÍFEROS DE LA REGIÓN ANDINA DE OCCIDENTE**

LIZETH YESENIA BUSTAMANTE PORRAS

YERSON DAVID REYES LÓPEZ

Tesis de grado para optar al título de

Ingeniero Ambiental y Sanitario

Ingeniero

CARLOS ENRIQUE BARRETO

Director

Universidad de la Salle

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

BOGOTÁ D.C, 27 de septiembre de 2013

Nota de aceptación

Firma del Director Carlos Enrique Barreto

Firma del jurado Julián David Puerto Suarez.

Firma del jurado David Fernando Fajardo.

Bogotá, D.C, 03 de septiembre de 2013

Dedico este trabajo a mis padres porque con su esfuerzo y constancia han sabido guiarme por el camino del estudio, acompañándome en los momentos más arduos a lo largo de mi carrera. Gracias a toda mi familia, a mi hermanito, a mi abuelita, a mis tíos, primos, amigos que estuvieron a mi lado en el transcurso de mis estudios, apoyándome y enseñándome cosas importantes para la vida. Infinita gratitud a la Universidad de la Salle, mi segundo hogar, por educarme como una profesional íntegra y una persona de bien.

Lizeth Yesenia Bustamante Porras

Este trabajo va dedicado primero que todo a Dios, por ser el guía en todo este proceso formativo; a mi familia y en especial a mis padres y hermanos, por ser el apoyo incondicional en estos años de vida universitaria y por brindarme la posibilidad de estudiar y obtener un título profesional; y a mis amigos dentro y fuera de la universidad con los cuales compartí los momentos más agradables e inolvidables de mi vida.

Yerson David Reyes López

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

- Ingeniero Carlos Enrique Barreto, director de tesis y docente de la Universidad de la Salle, por su aporte teórico y práctico para el desarrollo del trabajo.
- Geólogo Nelson Vargas, subdirector de hidrología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por la oportunidad de realizar el trabajo en colaboración con el IDEAM y su aporte al desarrollo del trabajo.
- Ana Karina Campillo Pérez, funcionaria de aguas subterráneas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por su acompañamiento y aporte en el desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
1. PROBLEMA.....	17
1.1. Línea	17
1.2. Descripción del problema.....	18
1.3. Formulación del problema.....	20
1.4. Justificación	20
1.5. Objetivos	22
1.5.1. Objetivo general	22
1.5.2. Objetivos específicos	22
2. MARCO REFERENCIAL	23
2.1. Marco de referencia.....	23
2.1.1 El ciclo hidrológico	23
2.1.2 El agua subterránea	25
2.1.3 Modelo hidrogeológico conceptual	32
2.1.4 Provincias hidrogeológicas	35

2.1.5	Capacidad Regional	36
2.2.	Marco legal.....	38
3.	MARCO CONTEXTUAL	40
3.1.	La Región Andina	40
3.2.	Unidades hidrogeológicas en la región Andina de Occidente.....	42
3.3.	Sistemas acuíferos de estudio en la región Andina de Occidente	44
4.	DISEÑO METODOLÓGICO	46
4.1.	Método de análisis.....	46
4.2.	Etapas metodológicas	47
4.2.1	Etapas metodológicas	47
4.2.2	Etapas metodológicas	47
4.2.3	Etapas metodológicas	48
4.2.4	Etapas metodológicas	48
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	49
5.1.	Provincia hidrogeológica Cauca-Patía de la región Andina de Occidente.....	49
5.1.1	Sistema acuífero Cauca-Patía	54
5.1.2	Sistema acuífero Valle del Cauca.....	61
5.2.	Complejo ígneo-metamórfico de la región Andina de Occidente	68
5.2.1	Sistema acuífero Santafé de Antioquia	69

5.2.2	Sistema acuífero Santagueda	72
5.2.3	Sistema acuífero Valle de Aburrá.....	76
5.2.4	Sistema acuífero Bajo Cauca Antioqueño.....	82
5.2.5	Sistema acuífero Altiplano Nariñense	87
5.3.5	Sistema acuífero Glacis del Quindío.....	89
5.3.	Evaluación de la capacidad regional de las Corporaciones Autónomas Regionales de la Región Andina de Occidente frente a las aguas subterráneas	96
5.3.1	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)	102
5.3.2	Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS)	104
5.3.3	Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER)	106
5.3.4	Área Metropolitana del Valle de Aburra Unidad Ambiental (AMVA)	108
5.4.	Análisis de la capacidad regional de las Autoridades Ambientales frente a la información secundaria	110
CONCLUSIONES		116
RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS		121
BIBLIOGRAFÍA		126
ANEXOS		130

FIGURAS

Figura 1. Diagrama del Ciclo del Agua.	24
Figura 2. Distribución del agua en el subsuelo.	26
Figura 3. Acuíferos libres, confinados y semiconfinados.	27
Figura 4. Modelo Hidrogeológico Conceptual.	33
Figura 5. Matriz. Criterios para la evaluación de la capacidad regional.	38
Figura 6. Normatividad vigente aplicable sobre aguas subterráneas.	39
Figura 7. Provincias hidrogeológicas de Colombia.	43
Figura 8. Ubicación de los sistemas acuíferos objeto de estudio.	45
Figura 9. Ubicación de la provincia hidrogeológica Cauca-Patía.	50
Figura 10. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Cauca-Patía.	51
Figura 11. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cauca-Patía.	52
Figura 12. Unidades hidrogeológicas de la provincia Cauca-Patía.	53
Figura 13. Ubicación del sistema acuífero Cauca-Patía.	55
Figura 14. Unidades geológicas del Sistema Acuífero Cauca-Patía.	56
Figura 15. Ubicación del sistema acuífero del Valle del Cauca.	62
Figura 16. Unidades de importancia hidrogeológica del acuífero del Valle del Cauca.	64
Figura 17. Representación 3D del Modelo Hidrogeológico Conceptual del sistema acuífero del Valle del Cauca realizado por la CVC.	66
Figura 18. Ubicación del sistema acuífero de Santafé de Antioquia.	70
Figura 19. Ubicación del sistema acuífero de Santagueda.	73

Figura 20. Ubicación del sistema acuífero Valle de Aburrá.	77
Figura 21. Ubicación del sistema acuífero del Bajo Cauca Antioqueño.....	82
Figura 22. Unidades hidrogeológicas del sistema acuífero Bajo Cauca Antioqueño.	83
Figura 23. Ubicación geográfica del Altiplano nariñense.	87
Figura 24. Ubicación del sistema acuífero Glacis del Quindío.	90
Figura 25. Unidades hidrogeológicas del sistema acuífero Glacis del Quindío.....	92
Figura 26. Descripción de las capas en el sistema acuífero Glacis del Quindío.	93
Figura 27. Matriz de la capacidad regional de las autoridades ambientales.	98
Figura 28. Matriz de la capacidad regional en áreas de las autoridades ambientales.	99
Figura 29. Matriz de la calificación de criterios de gestión para las autoridades ambientales.	101
Figura 30. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en la CVC...	102
Figura 31. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en CORPOCALDAS.	104
Figura 32. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en CARDER.	106
Figura 33. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en AMVA...	108
Figura 34. Unidades Hidroestratigráficas de Colombia.	115

TABLAS

Tabla 1.Valores de porosidad.....	28
Tabla 2.Valores típicos del coeficiente de permeabilidad.	29
Tabla 3.Valores de conductividad hidráulica.....	30
Tabla 4.Valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales.	31
Tabla 5. Valores de coeficiente de almacenamiento.....	32

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.....	131
Anexo 2. Encuesta Corporación Autónoma Regional de Caldas.....	133
Anexo 3. Encuesta Corporación Autónoma Regional de Risaralda.	135
Anexo 4. Encuesta Área Metropolitana del Valle de Aburrá Unidad Ambiental.	138

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas son utilizadas en un gran porcentaje para suplir las necesidades del sector agrícola, en menor proporción por las actividades domésticas, industriales y pecuarias. En la política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - 2010, se destaca que la mayor parte de los recursos hídricos utilizables en el planeta se encuentran en el subsuelo y según el IDEAM, Colombia cuenta aproximadamente con un 75% de zonas favorables para el almacenamiento de dicho recurso.

Los sistemas acuíferos son poco susceptibles a la contaminación o a los cambios climáticos extremos (comparados con las aguas superficiales), se caracterizan por albergar agua de buena calidad y los costos relacionados con los procesos de exploración-explotación son relativamente bajos. Una vez que un sistema acuífero se ha contaminado, su depuración resulta bastante compleja, en algunos casos imposible, de ahí la importancia de conocer al detalle sus características geológicas, hidrológicas, hidráulicas, hidroquímicas, entre otras, y de esta forma generar las herramientas necesarias para planificar integralmente la gestión del recurso.

En este trabajo se reúne y ordena la información hidrogeológica de los sistemas acuíferos de la región Andina de Occidente obtenida a partir de diversas fuentes tales como: Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's), Universidades, Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Como resultado se obtuvo el reconocimiento hidrogeológico de la Región Andina de Occidente frente a los sistemas acuíferos del Valle del Cauca, Cauca Patía, Glacis del Quindío, Valle de Aburra, Santafé de Antioquia, Bajo Cauca Antioqueño, Altiplano Nariñense y Santagueda e igualmente a través de encuestas realizadas por el IDEAM se puso en evidencia la *capacidad regional*¹ actual de las CAR del Valle del Cauca (CVC), Risaralda (CARDER), Caldas (CORPOCALDAS) y Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). La información recopilada se relacionó con la capacidad que tienen las CAR para realizar un manejo integral de los sistemas acuíferos.

¹ La *capacidad regional* corresponde a las condiciones actuales de las corporaciones autónomas regionales, para tomar decisiones en torno a la gestión de las aguas subterráneas basándose en los siguientes criterios: Talento humano, equipos e instrumentos, monitoreo, laboratorios, procedimientos, sistemas de información, PMAA, relaciones con la comunidad, capacitación e investigación.

RESUMEN

El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas resulta ser considerablemente bajo y por su condición de estar en el subsuelo permite que la variabilidad climática afecte en menor medida sus volúmenes respecto a las fuentes hídricas superficiales. Es de suma importancia conocer las características hidrogeológicas de los sistemas acuíferos para diseñar planes de manejo de aguas subterráneas por parte de las autoridades ambientales, las cuales deben cumplir con su tarea de proteger las zonas de recarga y evitar la inadecuada explotación del recurso.

En este documento han sido recopilados datos sobre las características hidrogeológicas de los sistemas acuíferos de la región Andina de Occidente colombiana y se exponen los resultados de encuestas realizadas por el IDEAM dando una calificación a las *capacidades regionales* de cada una de las CAR. La zona de estudio comprende la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía, una de las principales áreas del país con alto potencial de almacenamiento de agua subterránea como lo refleja la información obtenida. Y el complejo igneometamórfico de ésta región, que se caracteriza por ser una barrera impermeable en donde el agua es limitada para su explotación.

Respecto a la evaluación de la *capacidad regional* de las autoridades ambientales se evidenció que CVC, CORPOCALDAS y CARDER, cuentan una buena gestión del recurso hídrico subterráneo, contrario al trabajo realizado por la AMVA, un escenario regular, reflejado en la cantidad y calidad de la información compilada.

ABSTRACT

The risk of groundwater contamination is found to be considerably lower and its condition of being in the basement allows climate variability less affecting their volumes compared to surface water sources. It is very important to know the hydrogeological characteristics of the aquifer systems to design management plans groundwater by environmental authorities, which must fulfill its responsibility of protecting recharge areas and preventing inappropriate resource exploitation.

In this document data has been compiled about the hydrogeological characteristics of aquifer systems in the Colombian West Andean Region and presents the results of surveys done by the IDEAM giving a rating to regional capacities in each CAR

The study area includes the hydrogeological province of Cauca-Patia, one of the main areas of the country with high potential for groundwater storage as reflected in the information obtained. And the metamorphic igneous-complex of this region is characterized by an impermeable barrier where water is limited for exploitation.

Regarding the evaluation of the regional capacity of environmental authorities showed that CVC, CORPOCALDAS and CARDER, have good management of groundwater resources, contrary to the work of the AMVA a regular scenario reflected in the quantity and quality of information gathered.

1. PROBLEMA

1.1. Línea

Este estudio pertenece al semillero de investigación ALITUR AQUA, correspondiente a la línea de Gestión Integral del Recurso y Uso Eficiente Del Agua de la Universidad de la Salle. En este documento se caracterizan hidrogeológicamente los sistemas acuíferos de la zona occidental de la Región Andina, teniendo como base información brindada por fuentes secundarias, a su vez se diagnostica la *capacidad regional* de las entidades ambientales encargadas de la gestión del recurso, a través información recolectada por medio de encuestas realizadas por funcionarios del IDEAM.

El proyecto da continuidad a la EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS EN COLOMBIA; tesis desarrollada por Buitrago y Rojas en el año 2008, estudiantes de ingeniería civil de la Universidad de la Salle, se diligencian las matrices propuestas en dicho trabajo y se le da especial atención a la zona mencionada con anterioridad, aportando una información clara y sintetizada del estado actual de la gestión orientada a los sistemas acuíferos dentro de la jurisdicción de cada CAR

1.2. Descripción del problema

Por su localización geográfica, orográfica y variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos del mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la distribución de la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas naturales y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010, pág. 23)

Según menciona INGEOMINAS, (Consideraciones sobre las aguas subterráneas en Colombia y sus posibilidades de explotación, 1997), sólo se han realizado estudios relacionados con este componente en apenas un 5% del área total del territorio, pero ésta cifra según investigaciones posteriores podría alcanzar hasta un 10%, (INGEOMINAS, 2004), lo que quiere decir que probablemente, al 2013 los estudios abarquen un área mayor. Los análisis cubren especialmente las zonas con escasa oferta hídrica superficial, fundamentalmente la Costa Atlántica; también existen estudios regionales en la Sabana de Bogotá, Valle del Cauca, Norte de Santander, Tolima y Huila, igualmente algunas de las autoridades ambientales han realizado investigaciones en las áreas de su jurisdicción. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010, pág. 24).

En el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 se enuncia que “Colombia carece de una regulación capaz de incentivar el uso eficiente y la protección de los recursos hídricos, así como de un modelo eficaz para el ejercicio de la autoridad ambiental tendiente a su administración, control y seguimiento, e instrumentos y mecanismos de articulación que viabilicen su ordenación y planeación, que permitan reducir los conflictos por acceso y uso del recurso, que se acentuarán debido a los impactos del cambio climático, dado el fraccionamiento de la gestión entre las autoridades ambientales, entidades territoriales, sectores productivos y la sociedad en general.”

Aunque las investigaciones enfocadas al estudio de aguas subterráneas se han llevado a cabo desde la mitad del siglo pasado, la información se encuentra dispersa, es de difícil acceso y entendimiento, generando dificultades a la hora de planificar el manejo integral del recurso hídrico. En consecuencia, es imprescindible contar con herramientas que unifiquen y fortalezcan el modelo hidrogeológico conceptual de la Región Andina de Occidente, de tal forma que tanto las autoridades como el público en general, tengan información ordenada con respecto a los estudios realizados sobre el estado de los sistemas acuíferos de dicha zona.

Los datos existentes y disponibles de los sistemas acuíferos están directamente relacionados con la *capacidad regional* de las CAR, por tanto, si los recursos técnicos, de talento humano y de investigación de una autoridad ambiental son escasos, la disponibilidad y la calidad de la información también lo será. Por ello es necesario determinar e identificar las falencias de las autoridades ambientales y proponer soluciones para resolver las debilidades encontradas.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál y qué tipo de información hidrogeológica secundaria existe para los sistemas acuíferos de la Región Andina de occidente?

¿Cuál es el estado actual de la *capacidad regional* de las Corporaciones Autónomas en la Región andina de occidente?

1.4. Justificación

Según lo estipulado en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico; el agua es un bien natural de uso público administrado por el Estado a través de las Corporaciones Autónomas Regionales. El artículo 20 del decreto 2811 de 1974 establece que las CAR deben organizar y mantener al día los sistemas de información ambiental con registros cartográficos, hidrometeorológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, climáticos, geológicos y niveles de contaminación por regiones e inventarios de fuentes de contaminación, entre otras. Información que se encuentra dispersa, no está disponible o es demasiado antigua.

Por el anterior motivo, en este trabajo se ha realizado un proceso de compilación referente a la información hidrogeológica secundaria disponible de los sistemas acuíferos de la Región Andina de Occidente, generada por entes privados y estatales en forma física o digital, ofreciendo una herramienta de fácil acceso para el público en general y para la toma de decisiones por parte de las autoridades responsables de la gestión de este recurso.

De igual manera se refleja el nivel de la *capacidad regional* de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's) y se proponen acciones correctivas con respecto a las debilidades encontradas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Caracterizar los sistemas acuíferos y evaluar las capacidades regionales de las autoridades ambientales en la zona de la Región Andina de Occidente en el territorio Colombiano.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar e integrar la información hidrogeológica secundaria disponible de la Región Andina de Occidente.
- Identificar las unidades hidrogeológicas y los sistemas acuíferos de la zona.
- Evaluar las capacidades regionales de las CAR de la región.
- Analizar comparativamente la información hidrogeológica secundaria compilada con las capacidades regionales de cada una de las CAR.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco de referencia

2.1.1 El ciclo hidrológico

El ciclo del agua representa la presencia y el movimiento de éste líquido en la hidrosfera, sustancia que siempre está cambiando de estado físico y se encuentra en constante circulación; desde los océanos hasta la atmósfera, luego a los continentes y nuevamente de vuelta a los océanos.

El ciclo no tiene principio ni fin, pero para efectos del presente trabajo se considera inicialmente la evaporación del agua desde los océanos. El vapor de agua resultante del anterior proceso es transportado por las masas móviles de aire que bajo condiciones atmosféricas se condensa para formar las nubes, las cuales pueden transformarse en precipitación que se da de forma líquida o sólida, siendo retenida por el suelo en su mayoría, regresando eventualmente a la atmosfera gracias a la evaporación o transpiración de las plantas. Parte del agua precipitada viaja sobre la superficie del suelo o a través de éste hasta alcanzar los canales de las corrientes. La porcion que resta, infiltra la corteza terrestre para luego alojarse en el subsuelo y consecuentemente convertirse en agua subterránea, por efectos de la gravedad tanto la escorrentia superficial como el agua subterránea vuelve a los océanos. Otra parte del agua subterránea encuentra aperturas en la

superficie terrestre y emerge como manantiales de agua dulce. El agua infiltrada alcanza las capas más profundas del suelo y recarga los acuíferos (roca subsuperficial saturada), los cuales almacenan grandes cantidades de agua dulce por largos períodos de tiempo.

Parte de la precipitación puede permanecer en la superficie del terreno en estado sólido hasta cuando la fusión le permita fluir hacia las corrientes superficiales o el agua subterránea. (Ray K. Linsley, 1990)

Para entender el ciclo natural del agua podemos observar la figura 1, donde se muestran las transformaciones del agua en el ambiente.



Figura 1. Diagrama del Ciclo del Agua.

Fuente: (Survey, 2013)

2.1.2 El agua subterránea

Los ríos y los lagos son las principales fuentes de agua dulce que la población usa a diario a pesar de que aproximadamente sólo un 2% del agua dulce total en el mundo es superficial, el 68 % corresponde a glaciares y el 30% se encuentra en el subsuelo (Ven Te Chow, 1996). Del agua subterránea se afirma que: “no está siendo aprovechada o en su defecto contaminada debido al desconocimiento de su existencia”. Buitrago & Rojas (2008)

El Marco Conceptual Para las Evaluaciones Regionales del Agua destaca que en el subsuelo se encuentran formaciones geológicas consistentes en unidades roca-sedimento porosas (arenas, gravas, etc.), o fracturadas (calizas, areniscas, lavas, etc.) las cuales pueden almacenar agua en sus intersticios. Este recurso se llama agua subterránea y los terrenos que la contienen con posibilidad de cederla, se denominan acuíferos. Los acuíferos pueden tener extensiones laterales de cientos a millones de metros, constituyendo acuíferos locales en el primer caso y regionales en el segundo (ITGE, 1987) citado por (IDEAM, 2011, pág. 96)

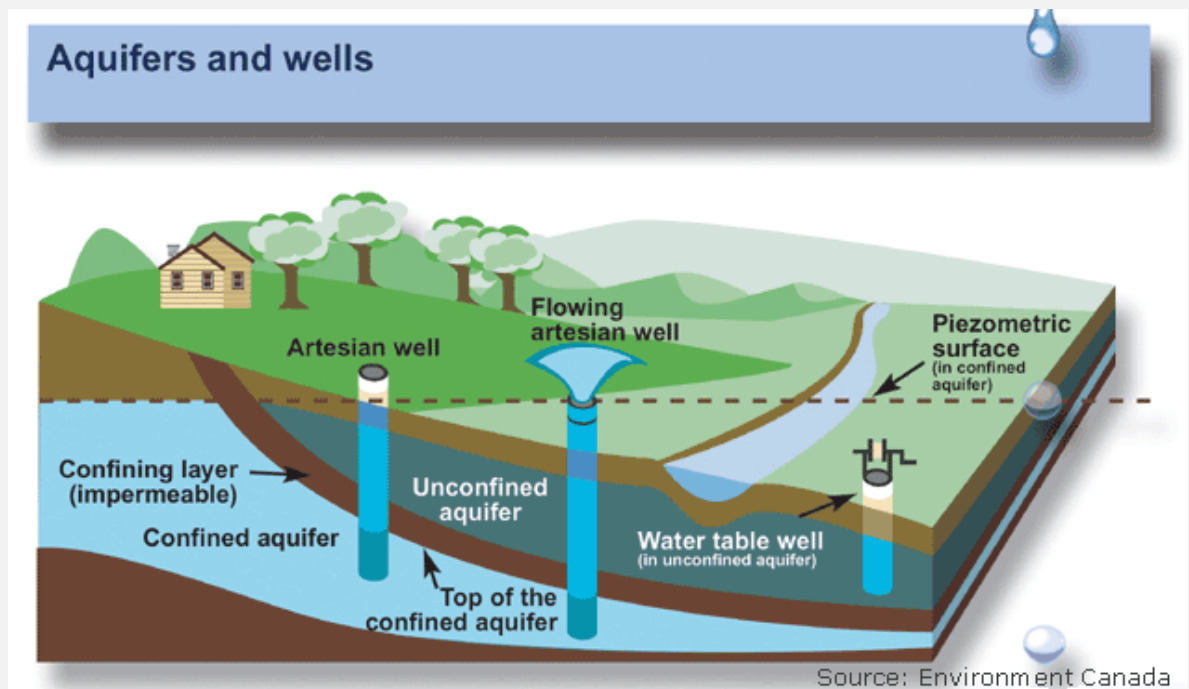


Figura 2. Distribución del agua en el subsuelo.
Fuente: (USGS, 2011)

- *Clasificación de los acuíferos.*

Según su comportamiento hidrodinámico: Dentro de esta categorización podemos hallarlos acuitardos (materiales que almacenan agua, pero sólo permiten el flujo muy lento de ella por sus ambientes semipermeables o impermeables), acuicierres (rocas impermeables que pueden contener agua, pero no permiten su flujo en cantidades significativas) y acuífugas (materiales que no contienen ni permiten el flujo de agua; son considerados materiales impermeables). (IDEAM, Política Nacional Para la Gestión Integral del Recurso Hídrico., 2010, págs. 118-119)

Según su comportamiento hidráulico: Donde se pueden hallar los acuíferos libres no confinados o freáticos (aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua que contienen, que está en contacto con el aire y por tanto a presión atmosférica), acuíferos cautivos confinados o a presión (aquellos en los que la superficie superior del agua se encuentra sometida a una presión superior a la atmosférica) y acuíferos semicautivos o semiconfinados (aquellos en los que la pared superior o inferior no es totalmente impermeable, sino que se trata de un acuitardo, es decir, un material que permite la filtración del agua, pero de forma muy lenta, lo que sirve de alimentación al acuífero principal). (Universidad Nacional de Colombia, 2013)

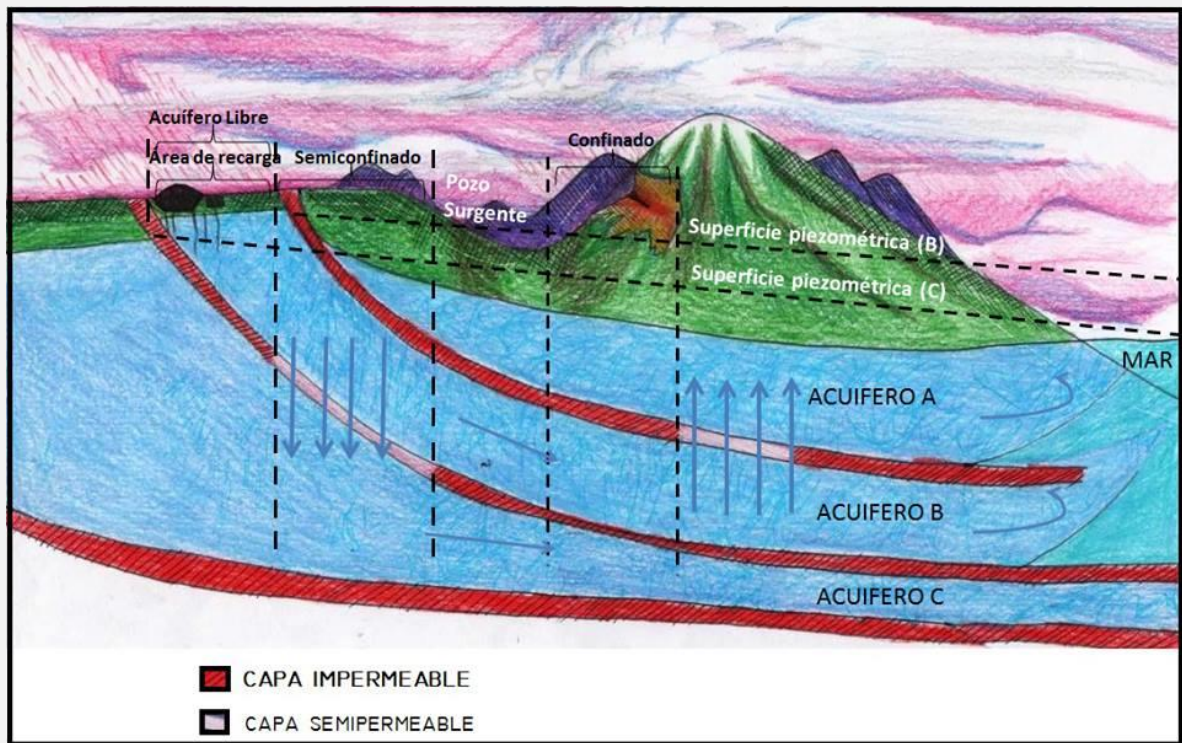


Figura 3. Acuíferos libres, confinados y semiconfinados.

Fuente: Adaptado Bear, 1982. En (ITGE, 1987) citado por IDEAM. (2011). Marco Conceptual Para las Evaluaciones Regionales del Agua (pág. 104).

- *Propiedades físicas del agua subterránea.*

La porosidad es la característica que posee un material geológico de contener intersticios y su valor se da en porcentaje, representa el volumen del material ocupado por dichos intersticios. Se considera que una porosidad menor al 5% es baja, entre el 5 y el 20% es media y más del 20% es alta. Es posible aplicar la porosidad tanto en un material granular como en uno fracturado, inclusive se hallan materiales granulares compactos que se encuentran fracturados y enseñan lo que se llama doble porosidad. (Maderey, 2005, pág. 91). En la tabla 1 se exponen los principales valores de porosidad de diferentes materiales.

Valores de porosidad (Freezeand Cherry, 1979).		
Materiales		Porosidad total n (%)
Depósitos no consolidados	Gravas	25-40
	Arenas	25-50
	Limos	35-50
	Arcillas	40-70
Rocas	Basalto fracturado y Calizas Kársticas	5-50
	Areniscas	5-30
	Caliza dolomita	0-20
	Pizarra y Rocas cristalinas fracturadas	0-10
	Rocas cristalinas compactas	0-5

Tabla 1. Valores de porosidad.

Fuente: Freeze and Cherry, 1979 citado por IDEAM. (2011). Marco Conceptual Para las Evaluaciones Regionales del Agua (pág. 99).

- *La ley de Darcy y el coeficiente de permeabilidad.*

El ingeniero francés Henry Darcy (1803-1858) descubrió que existe una relación entre la cantidad de agua que fluye a través de una superficie, el área de esta superficie y el gradiente hidráulico.

Como resumen de sus trabajos se puede expresar la "ley de Darcy" en la forma:

Con

$$Q = \frac{dV}{dt} = k \times A \times i$$

$$i = \frac{h}{l}$$

O también:

$$k = \frac{Q}{i \times A} \text{ [m/s]}$$

Por definición la determinación de “k” sólo es posible para un régimen de flujo laminar pero no para un régimen de flujo turbulento.

Algunos ejemplos de los rangos del coeficiente de permeabilidad “k” (en m/s) para distintos tipos de suelo no consolidados se muestra la Tabla 2.

Valores típicos del coeficiente de permeabilidad.

Material	k	Material	k
Grava	$10^{-1} - 10^{-2}$	Arena Limosa	$10^{-5} - 10^{-7}$
Arena Gruesa	10^{-3}	Arcilla Limosa	$10^{-6} - 10^{-9}$
Arena Mediana	$10^{-3} - 10^{-4}$	Arcilla.	$< 10^{-9}$
Arena Fina	$10^{-4} - 10^{-5}$		

Tabla 2. Valores típicos del coeficiente de permeabilidad.

Fuente: (Alvarez, 2002)

En hidrogeología, la conductividad hidráulica, K es la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico. (Maderey, 2005, pág. 91)

Valores de conductividad hidráulica (K)		
K (m/día)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
$K < 10^{-2}$	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica
$10^{-2} < K < 1$	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica
$1 < K < 10$	Media	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica
$10 < K < 100$	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica
$100 < K$	Muy alta	Pozos con más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica

Tabla 3. Valores de conductividad hidráulica.

Fuente: Adaptado de Villanueva e iglesias, 1984 citado por IDEAM, Pág. 100(2011). Marco Conceptual Para las Evaluaciones Regionales del Agua

Los acuíferos pueden presentarse en cuatro distintas formaciones geológicas: Depósitos de gravas y arenas no consolidadas (comúnmente intercalados con estratos de limos y arcillas, con pocas unidades de carbonatos), formaciones consolidadas y semiconsolidadas de conglomerados y areniscas (poseen permeabilidad y porosidades primarias (intergranulares) y secundarias (fracturas y diaclasas), formaciones carbonatadas que tienen fisuras y fracturas (con posibilidades de ampliarse por disolución y poseen porosidades y permeabilidades primarias muy pequeñas) y rocas ígneas y metamórficas con fisuras y fracturas que permiten el almacenamiento y circulación del agua. (Vélez, Hidráulica de Aguas Subterráneas, 1999, pág. 50)

La permeabilidad y la porosidad son medidas que definen las características hidráulicas de un acuífero. En práctica se hace uso del parámetro *transmisividad*, que es el producto de la permeabilidad del acuífero por su espesor saturado. Al igual la transmisividad se define como el caudal de agua que proporciona una sección de ancho

unitario de frente acuífero, sujeto a un gradiente del 100%. (ITGE, 1987) citado por (IDEAM, 2011, pág. 100). A continuación, se presentan valores de transmisividad en diferentes tipos de materiales.

Clasificación de terrenos por su transmisividad ($m^2/día$)					
T	0	1	10	10^2	10^3
Calificación	Impermeables	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación del acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo arenoso Limo Arcilla limosa	Arena fina Arena limosa Caliza poco Fracturada Basaltos	Arena limpia Grava y arena Arena fina Caliza Fracturada	Grava limpia Dolomías, calizas Muy fracturadas

Tabla 4. Valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales.

Fuente: ITGE, 1987 citado por IDEAM. (2011). Marco Conceptual Para las Evaluaciones Regionales del Agua (pág. 101). Adaptado de Custodio y Llamas, 1983.

La transmisividad es variable en acuíferos libres; en un confinado su espesor es constante, luego la transmisividad también es constante asumiendo que el sistema es homogéneo.

En un acuífero libre su espesor saturado varía con oscilaciones de la superficie freática (por ejemplo, invierno –verano= con lo que varía también su transmisividad.

La reunión de cualidades que condicionan el volumen de agua producida se mide a través del *coeficiente de almacenamiento*, siendo éste la cantidad de agua cedida por un prisma de acuífero de un metro cuadrado de sección y la altura del acuífero, cuando el nivel piezométrico baja un metro. El producto de la superficie de un acuífero por su espesor saturado de agua y por su coeficiente de almacenamiento es, teóricamente, una medida del

volumen de agua utilizable almacenada en dicho acuífero. Tal volumen se designa también capacidad del acuífero, almacenamiento o reservas. (ITGE, 1987) citado por (IDEAM, 2011, págs. 100-101). En la siguiente tabla se pueden observar los valores del coeficiente de almacenamiento con respecto al tipo de material.

Valores típicos de coeficientes de almacenamiento (S)		
Tipo de material permeable	Forma de funcionamiento del acuífero	Valores de S (medios)
Kárstico:		
Calizas y dolomitas jurásicas	Libre	2×10^{-2}
	Semiconfinado	5×10^{-4}
	Confinado	5×10^{-5}
Calizas y dolomitas cretácicas y terciarias	Libre	$2 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$
Poroso intergranular:		
Gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Kársticos y porosos:		
Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$

Tabla 5. Valores de coeficiente de almacenamiento.

Fuente: ITGE, 1987 citado por IDEAM. (2011). Marco Conceptual Para las Evaluaciones Regionales del Agua (pág. 101). Adaptado de Villanueva e Iglesias, 1984.

2.1.3 Modelo hidrogeológico conceptual

Para llevar a cabo una gestión integral del recurso hídrico subterráneo se debe partir del conocimiento de las características de los sistemas acuíferos, estas deben ser representadas en un Modelo Hidrogeológico Conceptual como se puede observar en la figura 4, donde la información geológica, hidrológica, hidrodinámica, hidráulica, hidroquímica e isotópica debe ser integrada. (IDEAM, 2011, pág. 121)

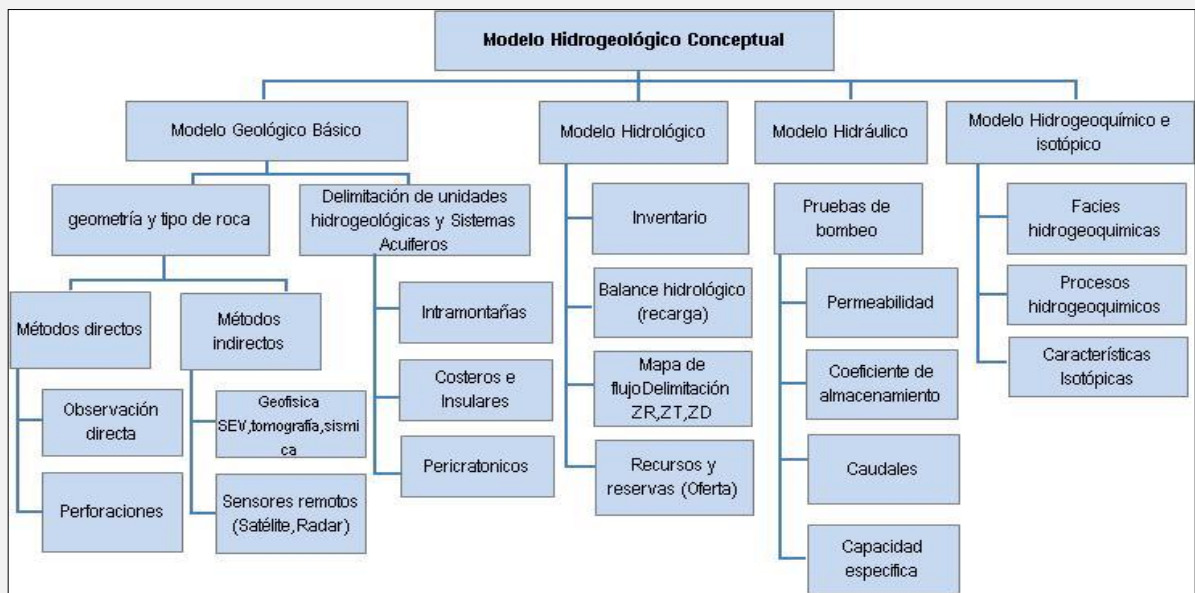


Figura 4. Modelo Hidrogeológico Conceptual.

Fuente: (IDEAM, Política Nacional Para la Gestión Integral del Recurso Hídrico., 2010, pág. 121)

El análisis geológico-geofísico, está compuesto de observaciones de afloramientos, levantamientos de columnas estratigráficas, correlaciones estratigráficas, obtención de secciones geológico-geofísicas, estudio de registros de perforaciones exploratorias, procesamiento de imágenes satelitales, radar, fotografías aéreas e interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales y registros provenientes de exploraciones sísmicas, tomográficas, magnetométricas, de perfilaje o registro geofísico de pozos.

El estudio hidrológico permite distinguir la distribución espacio temporal de la recarga, dinámica de flujo (zonas de recarga, descarga y tránsito) representada a partir de mapas de isopiezas (que precisan de nivelación topográfica de pozos), balance hídrico y flujos base, relaciones cuantitativas con subsistemas de agua superficial. El modelo hidrogeológico debe ser construido con información hidroclimática, utilización de trazadores e inventarios de puntos de agua (pozos, aljibes y manantiales), dichos

inventarios deben ser realizados a través de campañas para recolectar información pertinente a datos de usos y usuarios, predilecciones de demanda, situación sanitaria de captaciones, diseño de captaciones, características hidráulicas de pozos, situación y cuantificación de aprovechamientos, medidas de cualidades físico químicas de las captaciones de agua, y otras variables que son contempladas en el Formulario Único Nacional de inventario de Aguas subterráneas y que deben ser incluidas al Sistema de Información del Recurso Hídrico Subterráneo Regional para generar productos estadísticos, especializar variables e indicadores de estado. La autoridad ambiental definirá cada cuánto se deben actualizar estos inventarios, atendiendo las demandas regionales de uso y densidad de captaciones. Este modelo se retroalimenta de manera continua con los resultados de la red de monitoreo de agua subterránea que da cuenta de la variación de niveles piezométricos con el paso del tiempo.

Los análisis hidrogeoquímicos e isotópicos complementan y son parte estructural del MHC². Permiten reconocer facies hidrogeoquímicas, separar y distinguir sistemas de flujos, establecer la edad y el origen de las aguas subterráneas y registrar afectaciones por actividad antrópica. Son construidos a partir del seguimiento en redes de monitoreo y se complementan con información proveniente de inventarios de puntos de agua.

El modelo hidráulico e hidrodinámico es útil para identificar tipos de acuíferos (libre, confinado, semiconfinado), especializar variables hidráulicas (permeabilidad, capacidad específica, caudales de explotación, rendimientos o productividad), identificar superposición y extensión de conos de abatimiento, etc. Se inicia y toma como base la

²Modelo hidrogeológico conceptual

interpretación y extrapolación de resultados de pruebas de bombeo (a caudal constante, escalonadas, slug test, etc.) que dan información de captaciones y del acuífero. (Ibíd.)

2.1.4 Provincias hidrogeológicas

El IDEAM, en Estudio Nacional del Agua 2010 dividió al país en 5 macrocuencas o áreas hidrográficas, 41 zonas hidrográficas, y 309 subzonas hidrográficas, cumpliendo con lo estipulado en el artículo 4 del decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 en donde se establece la siguiente estructura hidrográfica: primero áreas hidrográficas o Macro-cuencas, segundo zonas hidrográficas, tercero subzonas hidrográficas o su nivel subsiguiente y por ultimo micro-cuencas y acuíferos;

Para las aguas subterráneas, en la actualidad se tienen 16 provincias hidrogeológicas como unidad de análisis. Sin embargo es necesario tener unidades a mayores escalas para un nivel de detalle más amplio y una mejor gestión.

Las provincias hidrogeológicas son unidades mayores referidas a escalas menores (entre 1:10.000.000 y 1:500.000), definidas a partir de unidades tectonoestratigráficas y separadas por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores. Desde el punto de vista hidrogeológico, conciernen a barreras impermeables representadas por fallas regionales y altos estructurales. A su vez, se caracterizan por su homogeneidad geomorfológica asociándose a ambientes sedimentarios y vulcanoclásticos, que albergan sistemas acuíferos multicapas con rendimientos

específicos propicios para ser explotados. (O. Vargas., Estudio Nacional Del Agua.) Al interior de cada provincia, es posible reconocer unidades hidrogeológicas que por sus características de porosidad y permeabilidad poseen diferentes ambientes para almacenar y permitir el flujo de agua, dichas unidades se llaman sistemas acuíferos que son un “dominio espacial, limitado en superficie y en profundidad, en el que hay uno o varios acuíferos, relacionados o no entre sí, y constituyen una unidad práctica para la investigación o explotación” (ENA, 2010)

En el país se han realizado insuficientes estudios de tipo hidrogeológico regional, y en su mayoría son de carácter local con escalas que varían entre 1:25.000 y 1:10.000. En este punto, es de suma importancia llamar la atención sobre el limitado conocimiento de los sistemas acuíferos del territorio nacional. (Ibíd., pág. 115)

2.1.5 Capacidad Regional

La *capacidad regional* corresponde a las condiciones actuales de las corporaciones autónomas regionales, para tomar decisiones en torno a la gestión de las aguas subterráneas.

Para el diagnóstico de la *capacidad regional* de las diferentes áreas en jurisdicción de las CAR, se determinan criterios de acuerdo a la gestión ejercida por cada entidad, evaluando cada uno de los aspectos que se observan en la **figura 5**.

El presente trabajo involucra la ponderación de dos tipologías de análisis matricial enfocado al diagnóstico de la *capacidad regional* de las autoridades ambientales:

- Una matriz general en donde se relaciona al tiempo la gestión de las cuatro entidades evaluadas y,
- Una matriz específica que determina la calidad del trabajo realizado por cada una de ellas, respecto a la gestión de las aguas subterráneas.

Con los criterios de gestión presentados en la **figura 5** y dependiendo de la información suministrada por la entidad competente a través de encuestas realizadas por la subdirección de estudios hidrogeológicos del IDEAM, se otorga una calificación de EXCELENTE (E) si la entidad cumple entre 10 y 9 criterios, BUENO (B) entre 8 y 6 criterios, REGULAR (R) entre 5 y 3 criterios o INSUFICIENTE (I) con 2 o menos criterios. (Buitrago & Rojas, 2008, pág. 74)

Adicionalmente y como fue mencionado con anterioridad, cada criterio se evaluó con más detalle para cada una de las autoridades ambientales (CVC, CARDER, CORPOCALDAS y AMVA) reflejando las fortalezas y debilidades, para eventualmente buscar la mejora de las mismas, procurando un mejor desempeño en cuanto al manejo del recurso hídrico subterráneo.

CRITERIOS	DEFINICIÓN
Talento Humano	Es el personal que se utiliza para la producción y la prestación de los servicios; se tienen en cuenta factores como conocimientos, experiencia, motivación, intereses vocacionales, aptitudes, actitudes, habilidades, potencialidades, salud, entre otras.
Equipo e Instrumentos	Unidad encargada de todo lo relacionado a la exploración de las aguas subterráneas, buscando el reconocimiento minucioso de todo lo relacionado a este tema, su calificación es evaluada de acuerdo a diferentes equipos como son: Equipo de perforación y/o monitoreo.
Monitoreo	El monitoreo del agua subterránea es un programa diseñado científicamente de continua supervisión que incluye observaciones, mediciones, muestreo y análisis estandarizado metodológicamente y técnicamente de variables físicas, químicas y biológicas
Laboratorios	Sitios para el procesamiento de la calidad del agua, debe tenerse en cuenta la exigencia de acreditación de los laboratorios.
Procedimiento	Descripción de un texto escrito llamado manual de procedimiento que deben conservar todas las CAR's, para el buen manejo de los diferentes procesos utilizados en las aguas subterráneas.
Sistemas de información	Son todos los documentos, bases de datos, sistemas de información geográfica y protocolos.
Plan de manejo ambiental de acuíferos.	Compendio de normas y acciones que permiten administrar un conjunto de actividades basadas en el conocimiento actualizado de las aguas subterráneas. El criterio es evaluado de acuerdo a la fase en la que se encuentre el plan (implementación, formulado o en formulación.)
Relaciones con la comunidad	Tiene como objeto valorar la interacción de la entidad con la población por lo cual se busca evaluar los diferentes análisis y estrategias como son divulgación, capacitación y socialización con la comunidad.
Capacitación	Proceso formativo aplicado de manera sistemática y organizada, con el fin de ampliar conocimientos, desarrollar destrezas, habilidades y modificar actitudes. Es calificado de acuerdo a los diferentes programas de capacitación de aguas subterráneas y participación en diferentes eventos relacionados con el tema.
Investigación	Búsqueda de conocimientos o de soluciones a problemas de carácter científico y cultural. Con este parámetro se evalúan los convenios con las que las diferentes CAR'S se relacionan con entidades públicas o privadas, como Universidades y centros de investigación, para el estudio de los diferentes temas asociadas a las aguas subterráneas.

Figura 5. Matriz. Criterios para la evaluación de la capacidad regional.

Fuente: Adaptado de Buitrago & Rojas. 2008 págs. 67 - 70.

2.2. Marco legal

La normatividad que se observa en la **figura 6** es la correspondiente a al régimen legal que aplica para las aguas subterráneas en este trabajo.

NORMA	OBJETIVO	ELEMENTO
Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.	Artículo 61. Planificación y administración del agua subterránea, mediante la ejecución de proyectos y actividades de conservación, protección y uso sostenible del recurso. La autoridad ambiental competente formulará el plan.
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 Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	Artículo 9°. Usos del agua. Para los efectos del presente decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua para fuentes superficiales, subterráneas y marinas: Consumo humano y doméstico, agrícola, industrial, recreativo, pecuario
Decreto 1323 de 2007	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH-	Artículo 9°. Alcance. El SIRH gestionará la información ambiental sobre la cantidad y la calidad del agua subterránea.
Decreto 1729 de 2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas y parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993.	Artículo 4°. Finalidades, principios y directrices de la ordenación. La ordenación de cuencas se hará teniendo en cuenta las zonas de recarga de acuíferos
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.	Artículo 1°. Zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial. Artículo 17°. El IDEAM deberá obtener, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal.
Decreto-ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Artículo 20° Las autoridades ambientales deben organizar y mantener al día los sistemas de información ambiental con información cartográfica, hidrometeorológica, hidrológica, hidrogeológica, climática, geológica, registros de niveles de contaminación por regiones e inventario de fuentes de contaminación, entre otras. Artículo 150°. Se organizará la protección y aprovechamiento de aguas subterráneas.

Figura 6. Normatividad vigente aplicable sobre aguas subterráneas.

Fuente: Elaboración propia.

3. MARCO CONTEXTUAL

3.1. La Región Andina

La región Andina está compuesta por tres ramales conocidos como: Cordillera Oriental con 1500 Km de longitud, 200 Km de ancho en la parte más extensa y altura promedio de 1500 y 4500 m; Cordillera Central con 850 Km de longitud, un ancho aproximadamente de 100 Km y alturas entre 3000 y 5100 m; y la Cordillera Occidental con 820 Km de longitud, 70 Km de ancho y entre 1500 y 5000 m de altura. (IGAC, 1989). El eje principal de las cordilleras posee una dirección de sur a norte y nordeste (este último especialmente en la Cordillera Oriental). (Narvaez Bravo & Leon Aristizabal, 2001)

Topográficamente la cordillera Oriental está constituida especialmente por rocas sedimentarias de edad Mesozoica, en su mayoría del Cretáceo y Jurásico con algunos macizos ígneo-metamórficos de las edades arcaicas y paleozoicas, en especial al sur y norte de la misma. La cordillera central, está formada por rocas ígneas (intrusivas y volcánicas y metamórficas, del Paleozoico y Mesozoico, aunque los edificios volcánicos más altos son de edad terciaria. La cordillera Occidental presenta una naturaleza mixta de rocas volcánicas y sedimentarias, en su mayor parte mesozoica (Mesa, 1997, pág. 89).

En cuanto a los aspectos climatológicos ésta región registra una precipitación media cercana a los 1500 mm por año. En las laderas exteriores puede ascender a los 3.000 mm por año hacia el oriente y el norte y los 6.000 mm por año hacia el occidente. El valle del

Cauca es más seco por ser más estrecho y alto. En el piso la lluvia es del orden de 1.000 mm o menos y bandas estrechas a lo largo de las laderas caen a 2.000 mm por año. El piso del valle del Magdalena recibe aproximadamente 1.700 mm, la ladera del barlovento (lado occidental) del orden de 3.000 mm y la de sotavento un poco más de 1.500 mm por año. El comportamiento bimodal de la precipitación se mantiene proporcional en toda la región para las lluvias medias mensuales multianuales que se pueden simplificar en comportamientos que se resumen así:

- Comportamiento seco, de mediados de diciembre a mediados de marzo y de mediados de junio a mediados de septiembre.
- Comportamiento húmedo, de mediados de marzo hasta principios de junio y de septiembre hasta mediados de diciembre.

Las dos temporadas lluviosas son de duración e intensidad comparable entre sí, exceptuado el valle alto del Magdalena donde la primera estación húmeda tiende a ser más prolongada (Mesa Óp. Cit., pág. 92).

La humedad en la zona es altamente afectada por la variación del relieve, con valores anuales de humedad relativa que fluctúan entre el 66 y el 87%, presenta los valores más altos, registros superiores al 80%, en zonas montañosas y los mínimos por debajo del 72%, en los valles interandinos. (IDEAM, 2005, pág. 42)

En la región la temperatura depende del cambio de altitud. El gradiente observado se hace más empinado con la altura. Por debajo de 1.000 m de altitud la temperatura disminuye 4,5 °C por cada Km y por encima de los 3.000 m el gradiente llega a los 6

°C/Km. En el valle del Magdalena la temperatura media anual varía cerca a los 27-28 °C. En las laderas fluctúan entre 18 y 24 °C con rango diurno de 12 °C. La dirección dominante del viento es del este o noroeste, con velocidades en el orden de 1 m/s. (Mesa, Óp. Cit., pág. 93)

3.2. Unidades hidrogeológicas en la región Andina de Occidente

En el Estudio Nacional del Agua (2010) se dividió al país en dieciséis provincias hidrogeológicas como puede ser observado en la figura 7, las cuales se asocian a ambientes sedimentarios y vulcanoclásticos, que alojan sistemas acuíferos multicasas con rendimientos específicos propicios para su aprovechamiento. Las provincias comprenden el 74% de la extensión total del territorio nacional. Aunque el 51% de esta superficie corresponde a las cuencas de la Orinoquía (Llanos Orientales), la Amazonía (Vaupés-Amazonas y Caguán-Putumayo) y la Costa Pacífica (Tumaco y Chocó), que por sus altos rendimientos hídricos superficiales y por el bajo porcentaje de población asentada en su territorio no han demandado de este recurso para suplir necesidades de abastecimiento. (O. Vargas., Estudio Nacional Del Agua.)

La zona andina es la región más densamente poblada del país, cuenta con 106.131 km² de área con posibilidades de presencia de aguas subterráneas, equivalente al 12,5% del área total cubierta por provincias hidrogeológicas en el territorio nacional y al 53,8% del área abarcada por las tres cordilleras y sus valles intramontanos. Este espacio pertenece a

los sistemas acuíferos multicapas de las zonas hidrogeológicas del Cauca-Patía, valle medio y superior del Magdalena y cordillera Oriental. Igualmente, se distinguen las cuencas transfronterizas de La Guajira y el Catatumbo, la cuenca intramontana del Cesar-Ranchería, las cuencas costeras de Sinú-San Jacinto y Urabá, y la cuenca insular de San Andrés. (Ibíd.)

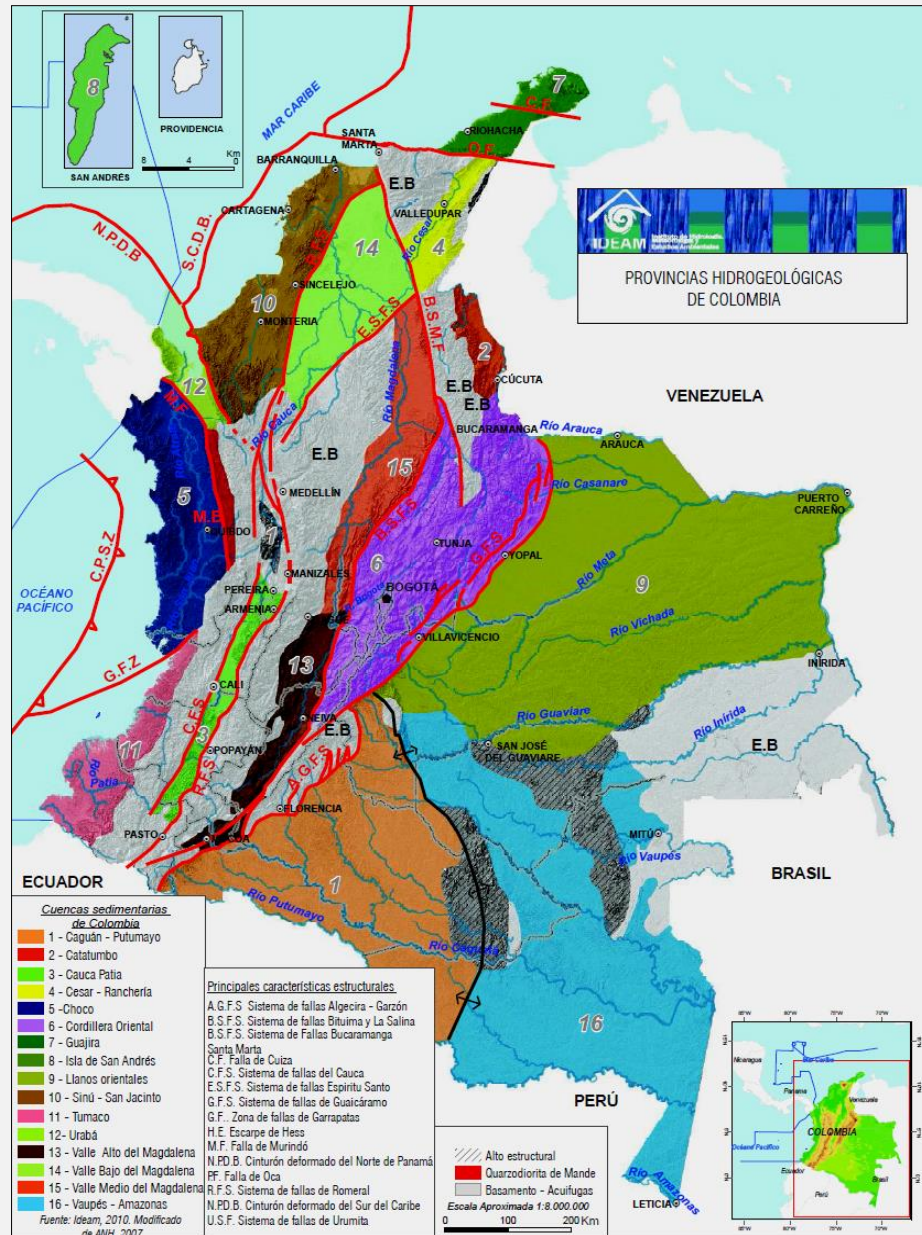


Figura 7. Provincias hidrogeológicas de Colombia.

Fuente: Adaptado de IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua (pág. 114).

El territorio restante del país se conforma de ambientes ígneo-metamórficos, en los que la circulación del agua subterránea se encuentra limitada más que todo a zonas de fracturamiento, y de ocurrencia de horizontes y de lentes calcáreos y detríticos, dentro de secuencias impermeables de litologías arcillosas y turbidíticas, cretácicas y terciarias, que no han sido objeto de búsqueda hidrogeológica, y donde deben esperarse recursos limitados para su explotación. Estos ambientes actúan como barreras para el flujo intergranular. (Ibíd., pág. 118)

Las unidades hidrogeológicas que conforman la zona de estudio (Región Andina de Occidente) corresponden a la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía y el complejo ígneo-metamórfico de la misma.

3.3. Sistemas acuíferos de estudio en la región Andina de Occidente

En la zona de estudio se reconocen unidades hidrogeológicas que por sus características de porosidad, permeabilidad y fracturamiento, presentan diferentes condiciones para almacenar y permitir el flujo de agua. Dentro de ellas la provincia hidrogeológica del Cauca Patía asociada a ambientes sedimentarios y vulcanoclásticos; de igual manera se identificó un complejo ígneo-metamórfico que presenta una composición mixta de rocas volcánicas y sedimentarias, permitiendo el almacenamiento de agua, aunque no en cantidades significativas como lo hace una provincia hidrogeológica.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Método de análisis

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la investigación descriptiva, en donde se manejaron variables analizadas independientemente, realizando una comparación entre ellas, implicando clasificación, análisis e interpretación. (Best., 1982)

Se identificaron las relaciones que existen entre dos variables (SALKIND, 1998), que en este caso son la cantidad y calidad de la información hidrogeológica recopilada versus la *capacidad regional* de las CAR. Se expone y resume la información de manera cuidadosa y luego se da un análisis de los resultados obtenidos, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual de los sistemas acuíferos de la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía y el complejo ígneo-metamórfico.

La recolección de datos para la calificación de la capacidad regional se hizo con la ayuda del IDEAM; la subdirección de hidrogeología envió unas encuestas tipo formulario a cuatro CAR's de la Región Andina de Occidente, la calificación de la gestión de dichas entidades se realizó a través del diligenciamiento de unas matrices diseñadas en el año 2008 por de Buitrago & Rojas estudiantes de ingeniería civil de la Universidad de la Salle.

4.2. Etapas metodológicas

4.2.1 Etapa 1. Diseño del proyecto

Con la definición del área de trabajo (Región Andina de Occidente) se procedió a buscar toda la información secundaria disponible de la zona a estudiar y los sistemas acuíferos involucrados. Los datos se adquirieron a través de diferentes entidades tales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), las Corporaciones Autónomas Regionales e investigaciones de Universidades públicas y privadas.

4.2.2 Etapa 2. Integración de la información

En esta segunda etapa se leyó y consolidó la información hidrogeológica secundaria de los sistemas acuíferos. Al mismo tiempo, la subdirección de hidrogeología del IDEAM envió unas encuestas a las Corporaciones Autónomas Regionales (CVC, AMVA, CORPOCALDAS y CARDER) para el diligenciamiento de una serie de preguntas bases para determinar el estado actual de la *capacidad regional*. Fueron tabuladas dichas encuestas y analizados los criterios que definen la *capacidad regional*.

4.2.3 Etapa 3. Reconocimiento de las características de los sistemas acuíferos

Se presentaron los hallazgos recopilados de cada sistema acuífero ejecutados por diferentes entidades en torno a las siguientes características: localización, generalidades hidroclimáticas, ambiente geológico, unidades de importancia hidrogeológica, puntos de agua y usos, dinámica de flujo y recarga, resultados isotópicos, calidad del agua y problemáticas ambientales.

4.2.4 Etapa 4. Análisis y resultados

Se identificaron las entidades que poseían una mayor y mejor calidad de información hidrogeológica respecto a las características nombradas en la etapa 3, lo anterior se comparó con el estado actual de la *capacidad regional* de las CAR, entidades que tienen la obligación junto con el IDEAM de organizar y mantener al día el sistema de información ambiental, acciones dictaminadas por el Artículo 17° de la ley 99 del 93. El resultado obtenido en esta etapa es base para una próxima publicación del IDEAM que llevará como título: Las Aguas Subterráneas en Colombia: Una Visión General, proyectada para antes de la culminación del presente año.

Finalmente se dio un concepto y unas recomendaciones frente a las deficiencias y dificultades encontradas.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Provincia hidrogeológica Cauca-Patía de la región Andina de Occidente

➤ Localización geográfica y límites geológicos

La provincia hidrogeológica Cauca-Patía ocupa la parte intramontana centro occidental de Colombia y se extiende en dirección sur-norte, coincidiendo en sus límites con las estribaciones de las cordilleras central y occidental como se observa en la figura 9.(O. Vargas., Estudio Nacional Del Agua., pág. 126)

Las diferencias litológicas entre la cordillera oriental, la cordillera central y occidental de Colombia han sido el criterio básico para delimitar esta provincia, la cual está limitada, al oriente por el sistema de fallas del río Atrato. La provincia se extiende hacia el norte, hasta las fallas del Murrucucú, en las estribaciones de las serranías de Abibe, San Jerónimo, Ayapel y San Lucas; y hacia el sur, se estrecha con el Macizo Colombiano. Su litología es predominante ígneo metamórfica donde figuran diferentes etapas de la orogenia andina. En la provincia, se destaca el valle tectónico del Cauca, compuesto por las subcuencas del Patía y del río Cauca. Este rasgo tecnoestratigráfico configura la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía. (Ibíd.)

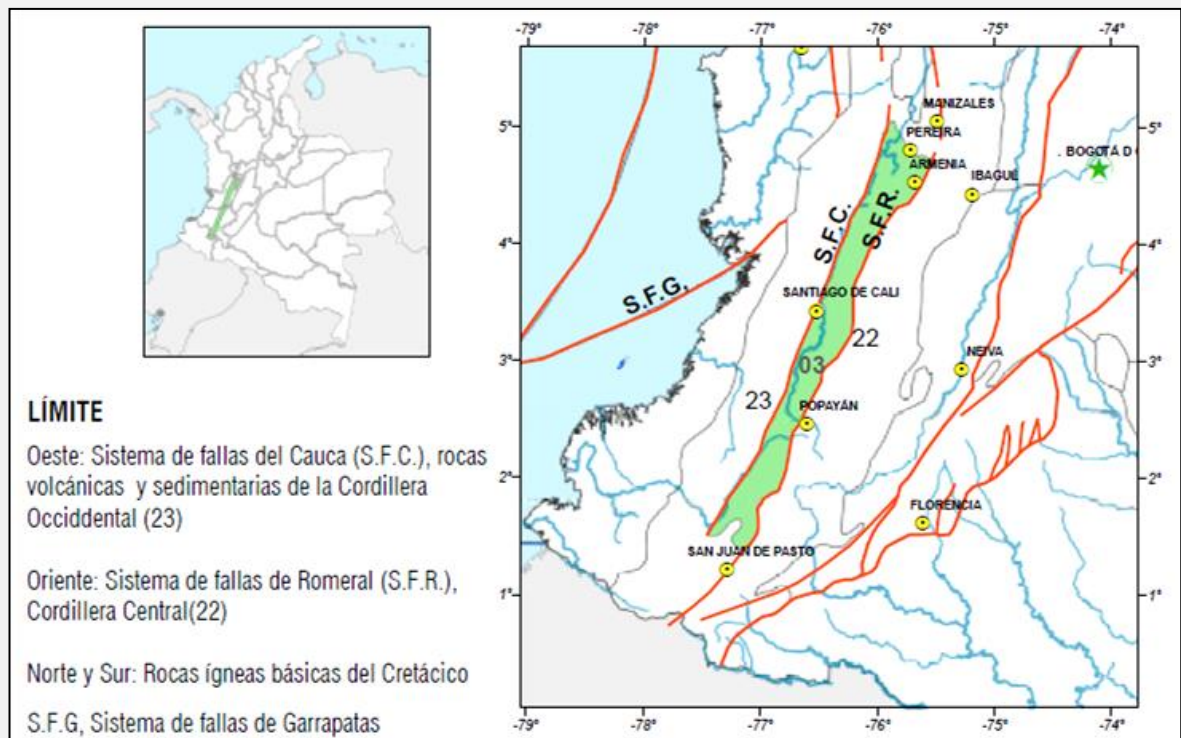


Figura 9. Ubicación de la provincia hidrogeológica Cauca-Patía.
Fuente. Adaptado de IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua (pág. 127).

➤ *Ambiente geológico*

El valle del río Cauca constituye una superficie plana o casi plana, formada por un relleno aluvial que consta de terrazas y aluviones hacia la zona central, derrubios y conos aluviales en los límites de las dos cordilleras. Los conos están mejor desarrollados hacia la cordillera central.

Los flancos del valle están formados por rocas esencialmente volcánicas, afectadas por fallamientos de gran magnitud que reflejan su origen tectónico. En el borde de la cordillera Occidental, afloran lavas y diabasas de la formación volcánica, mezcladas con algunas formaciones de origen continental y marino. En el borde de la cordillera Central,

afloran basálticas de edad Jurásica a Cretácica de la Formación Amaime, y formaciones sedimentarias plegadas al terciario, de las que predominan, al sur, la formación Popayán, y al norte, las formaciones La Paila, Guachinte y Zarzal. (Ibíd., pág. 127)

En el valle del río Cauca, se reconocen tres unidades de interés hidrogeológico (figura 10 y figura 11); la recarga de estas unidades se atribuye a la precipitación (que en la zona alcanza un promedio de 1500 mm), a la escorrentía superficial y a pérdidas por irrigación.

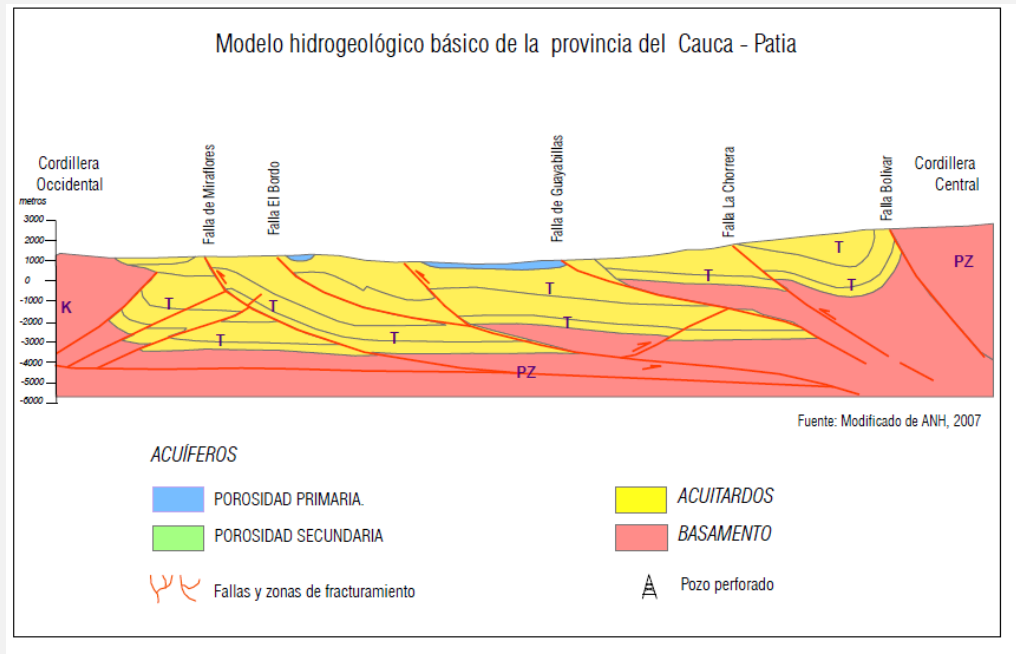


Figura 10. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Cauca-Patía. Adaptado de IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua (pág. 127).

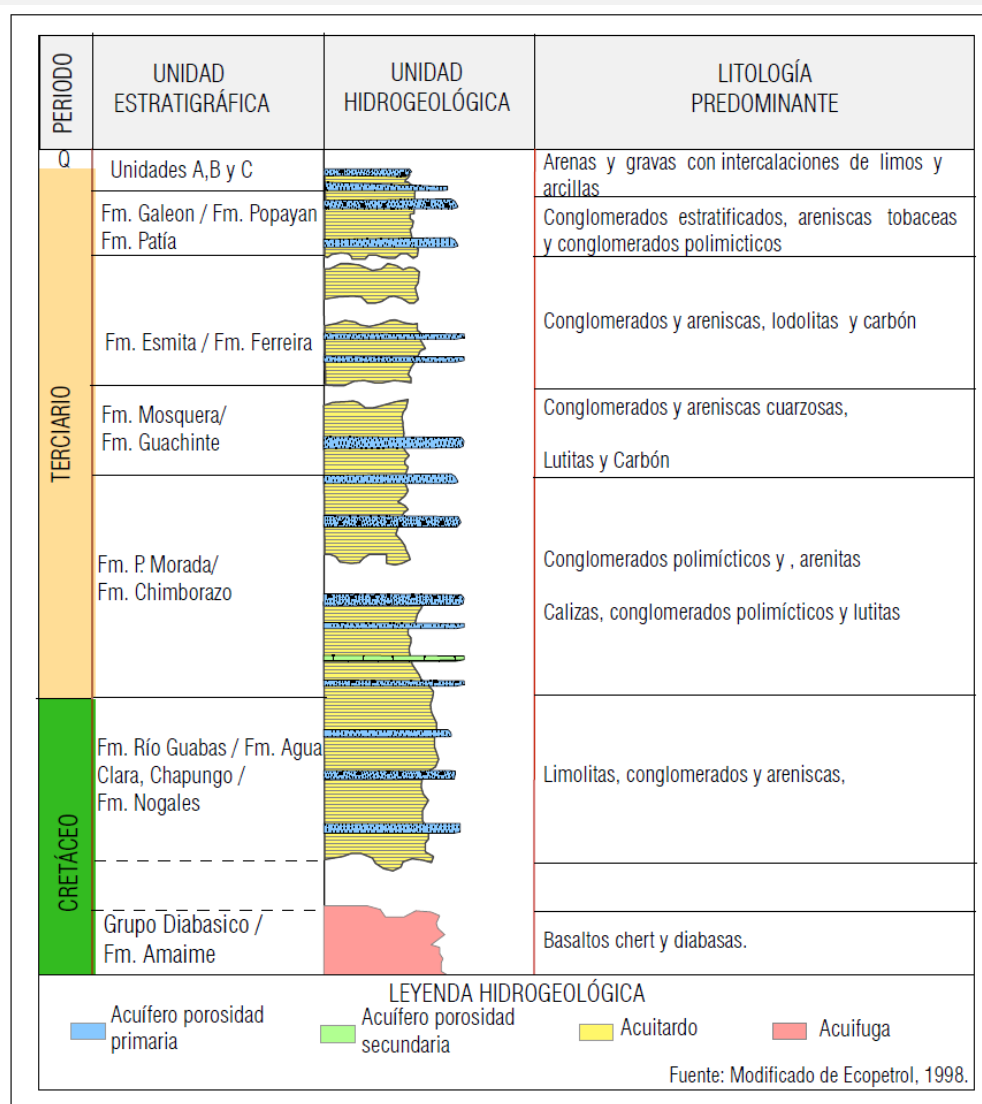


Figura 11. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cauca-Patía.
Adaptado de IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua (pág. 127).

➤ Modelo hidrogeológico básico

El modelo hidrogeológico básico está constituido por las unidades que se observan en la siguiente figura 12.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
A	Constituida por una alternancia de sedimentos permeables e impermeables que configuran más que todo acuíferos libres y semiconfinados. Tiene un espesor promedio de 120 m y un 30% a 40% de sedimentos permeables.
B	Se trata de una unidad constituida más por arcillas y limos, con algunos lentes muy delgados de gravas y arenas. No se considera como unidad productora de agua. Su espesor varía entre 80 m y 100 m, y es el techo de los acuíferos confinados de la unidad C. Se comporta como acuicludo, pero algunas veces se explotan en la región lentes arenosos pertenecientes a esta unidad.
C	Por lo general, está localizada por debajo de 180 m de profundidad y conforma acuíferos confinados, eventualmente con flujo saltante, de buena capacidad específica y excelente calidad del agua. En esencia está constituido por capas de arenas, gravas y algunas veces, cantos rodados intercalados entre capas de arcillas. Su espesor se desconoce, aunque estudios de geoelectrica ubican su parte inferior a una profundidad mayor de 500 m.

Figura 12.Unidades hidrogeológicas de la provincia Cauca-Patía.

Adaptado de IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua (pág. 127).

➤ Uso y Reserva

En los municipios de El Bordo, Balboa y Mercaderes (Cauca), sobre la cuenca del río Patía, se explotan acuíferos del terciario y cuaternario aluvial mediante pozos de 60-70 m de profundidad, con transmisividades de 222 m²/día y caudales de 43 L/s. Es importante anotar que, en la cuenca del río cauca, la recarga que puede superar los 4.500 millones de m³ por año es superior a la extracción anual de agua subterránea mediante pozos, que es del orden de 1.650 millones de m³ por año. Ello indica que (contrario a lo que ocurre en la mayoría de las provincias hidrogeológicas de Colombia), en el Cauca-Patía la recarga es más importante que las reservas (IDEAM, pág. 128)

➤ *Acuíferos de la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía y problemática*

Los acuíferos que componen la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía, son: el sistema acuífero del valle del cauca y el sistema acuífero del Patía.

Una de las características más importantes del sistema acuífero del Valle del Cauca es tener sedimentos permeables en los acuíferos de relleno aluvial (unidad C), intercalados entre capas de arcillas y limos, siendo una buena alternativa como fuente de agua potable. Existe un alto potencial de peligro de contaminación del recurso debido a la gran demanda del sector agrícola e industrial, además de la generación de descargas que contaminan el agua subterránea, los vertimientos por urbanizaciones sin sistemas de saneamiento adecuados y los lixiviados generados por botaderos a cielo abierto. (Ibíd.)

El sistema acuífero del Patía contiene aguas con riesgo moderado de salinización, siendo apta para consumo humano, excepto en algunos puntos en donde el manganeso excede los límites permisibles. Los habitantes reportan el descenso paulatino de los volúmenes de agua en algunas lagunas pantanosas, durante los últimos 10 años.

5.1.1 Sistema acuífero Cauca-Patía

La información correspondiente al sistema acuífero Cauca-Patía se obtuvo del Estudio Hidrogeológico En El Valle Del Patía realizado por Ángel en el año 1991 y de la Caracterización Biofísica del Patía realizado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca en 2006.

➤ Localización geográfica

El sistema acuífero se encuentra ubicado al sur oriente del departamento del Cauca (figura 13) y comprende una extensa zona plana rodeada por las estribaciones de la Cordillera Occidental y Central, tiene una extensión aproximada de 296 km², comprende los municipios de Bordo, Balboa y Mercaderes. (Angel, 1991)



Figura 13. Ubicación del sistema acuífero Cauca-Patía.

Fuente. Google © earth 2013

➤ Generalidades hidro - climáticas

Se presenta una distribución de las lluvias bimodal, con un periodo lluvioso que va de octubre a diciembre y de marzo a mayo, siendo el mes más lluvioso noviembre con un promedio de 317 mm. El periodo o estación seca corresponde a los meses de junio a septiembre, siendo el mes menos lluvioso julio con 45 mm. (CRC, 2006)

➤ Ambiente geológico

En el valle del Patía se encontraron unidades geológicas consolidadas y no consolidadas que varían en edad desde el cretáceo hasta el reciente. Estas se describen a continuación en la figura 14, empezando por la más antigua.

UNIDADES GEOLÓGICAS	DESCRIPCIÓN
Rocas Diabásicas (Kdv)	No se tiene algún registro con respecto al espesor
Unidad Medio Terciario Inferior (MTI)	Intercalaciones de areniscas, conglomerados, arcillolitas y limolitas > 1000 m
Formación galeón superior (TQgs)	Conglomerados areniscas y arcillolitas de origen volcánico y sedimentario. 140 m.
Depósitos Fluvio-Volcánicos del Bordo (TQfv)	Cantos y bloques dentro de matriz areno-arcillosa. Se desconoce su espesor.
Depósitos de abanico Aluvial (Qca)	Conglomerados areniscas conglomeráticas y cenizas volcánicas de composición andesítica. Espesor < 60m.
Depósitos Coluviales (Qc):	Cantos y bloques en matriz arcillo-arenosa 2 -10 m
Depósitos de llanura Aluvial (Qal):	Arcillas, arenas y gravas. < 20 m

Figura 14. Unidades geológicas del Sistema Acuífero Cauca-Patía.

Adaptado de Angel (1991). Estudio hidrogeológico en el valle de Patía (págs. 13). INGEOMINAS.

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

Dentro de la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía hay presencia de sedimentos y rocas porosas con importancia hidrogeológica de alta a baja: Se caracteriza por contener acuíferos conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente aluvial, representados por los depósitos de Llanura Aluvial (Qal), Abanico Aluvial (Qca) y Terraza Aluvial (Qt), como también por rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno de origen marino que conforman el acuitardo Medio Paleógeno-Neógeno Inferior-Miembro Medio y Superior (MTims), estas unidades son continuas y regionales. (Angel, 1991)

Las rocas porosas y fracturadas con importancia hidrogeológica alta a baja contienen las unidades acuíferos Galeón Superior (TQgs) y Galeón Inferior (TQgi).

Conformados por lutitas, areniscas y conglomerados, con porosidad Primaria Baja a regular, es un acuífero libre a confinado constituido por flujos piroclásticos del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario. (Hidrogeocol LTDA, 2004) citado por (Angel, Óp. Cit.)

En los sedimentos y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas se agrupan en las unidades aflorantes impermeables en el Valle del Río Patía. Incluye las unidades Acuicludo Grupo Diabásico (kdv), Acuicludo Medio Paleógeno-Neógeno Inferior-Miembro Inferior (MTli), acuicludo Depósito Fluvio Volcánico del Bordo (TQfv) y acuicludo Depósitos Coluviales. (Hidrogeocol LTDA, 2004) citado por (Ibíd.)

➤ Puntos de agua y usos

Se inventariaron un total de 137 puntos de agua, de ellos 122 son aljibes, 12 corresponden a manantiales y solamente existen 3 pozos.

Pozos: Solamente existen 3 pozos en el área; el 364 III C 020 de la estación chondural se encuentra abandonado y tapado con desechos. De los otros dos, el primero localizado en la población del Patía con 76 m de profundidad, se utiliza para abastecimiento público, a través del acueducto del pueblo, este tiene una capacidad específica de 0.85 l/s/m con un caudal de 15.2 l/s y capta la Unidad Medio Terciario Inferior. Y el tercero, en la hacienda yerbabuena con 60 m de profundidad, tiene 0.23 l/s/m de capacidad específica, con un caudal de 4.5 l/s, se utiliza para ganadería y capta la parte inferior de la Formación Galeón. Ambos son operados con bombas sumergibles. (Ibíd.)

Aljibes: Estos constituyen la gran mayoría (89%) de los puntos de agua en el área. Están distribuidos dentro de la zona plana, pero se concentran más a lo largo de la carretera

Panamericana, carretera Patía-Angulo-El Estrecho, caserío de El Puro y alrededores de El Estrecho, coincidiendo con las concentraciones de viviendas. Su método de explotación es muy variado, va desde el baldeo, pasando por las bombas manuales y también son muy comunes las motobombas. El 99% de ellos está en perfecto estado de funcionamiento, pues se encuentran revestidos, bien con ladrillo o cemento.

En cuanto a la unidad de la cual extraen agua se discrimina así: Qal (54%), Qca (19%), TQg (13%), QT1 (9%), Otras (5%). Sobre el consumo se puede observar que en la gran mayoría (89%) se consumen menos de 5m³/día y que solamente en un 3% de ellos se tiene una explotación intensiva de más de 20m³/día, tal es el caso de los identificados como 387 IA 001 (260m³/día), 364 III C 019 (173m³/día), 364 III C 003 (260 m³/día) y 386 II D 006 (100 m³/día).

Manantiales: Se inventariaron doce (12) puntos, que se distribuyen según la unidad que captan así: TQg (4), Qal (4), Qca (2), y MTI (2). Entre ellos predomina el tipo de “Manantial de Contacto”, que sucede entre una unidad acuífera y una impermeable, que obliga a aflorar el agua sobre el terreno de manera natural. Es así que en el área existen alrededor de doce (12) pequeñas lagunas y pantanos con extensiones menores a 6 hectáreas, las cuales resultan en los contactos entre las unidades acuíferas Qca y TQg, con los depósitos impermeables de la unidad Qal.

El principal uso del agua obtenida de los aljibes es para el abastecimiento doméstico y público de varias comunidades; en segunda instancia está el uso en ganadería y finalmente donde menos número de usuarios hay es para riego (5% del total); no obstante,

su consumo está concentrado en unos pocos sitios, dónde en los últimos años ha empezado a desarrollarse con éxito la agricultura tecnificada. (Ibíd.)

➤ Dinámica de flujo y recarga

La recarga total anual es de 86'416.000 m³, de los cuales un 54% corresponde a infiltración y el 90% de la recarga por precipitación llega a la parte plana del Valle, en los depósitos Cuaternarios. (Hidrogeocol LTDA, 2004) citado por (IDEAM, SP)

La recarga directa ocurre esencialmente en el lapso octubre-febrero, que es el periodo húmedo más largo y especialmente en los meses de octubre y noviembre, que tienen los mayores índices de precipitación (Ángel, Op Cit, pág. 46)

➤ Calidad

En cuanto a la calidad de agua para consumo humano se deduce que el agua subterránea de esta región es apta para el consumo humano. Se exceptúan algunos puntos debido a que su concentración en manganeso excede los límites permitidos para el agua potable (0.5 ppm). El manganeso en altas concentraciones produce en el agua un sabor desagradable, lo que hace notable su presencia y por tanto su acción tóxica.

El laboratorio de Salinidad de RIVERSIDE (U.S.) propone clasificar el peligro de salinización de los suelos utilizada para el riego de acuerdo al siguiente esquema.

Clases	Peligro De salinización.	Contenido de sales totales (g/l)	Conductividad eléctrica (ms/cm a 25°C)
C1	Bajo	<0.15	< 250
C2	Moderado	0.15 – 0.50	0.15 – 0.50
C3	Medio	0.50 – 1.15	0.50 – 1.15
C4	Alto	1.15 – 2.50	1.15 – 2.50
C5	Muy alto	2.50 – 3.50	2.50 – 3.50
C6	Excesivo	> 3.50	> 3.50

Tabla 6. Clasificación de peligro de salinización RIVERSIDE.

Fuente: adaptado de (Jarsun, 2008)

Como resultado se obtuvo que el agua subterránea de la región se clasifica como C1S1 es decir, es apta para riego en la mayoría de suelos y cultivos. Se exceptúan los puntos clasificados como C3S1, pues estos sin ser totalmente salinos, presentan un riesgo moderado de salinización. No obstante, se anota que de acuerdo con Catalan La Fuente (1981), en Cardenas y Vargas (1991): “Las aguas clasificadas como C3, pueden utilizarse en suelos de buen drenaje y con cultivos altamente tolerantes a las sales” (Angel, 1991)

La clasificación C1-S1 corresponde a un tipo de agua con una salinidad de entre 100 y 250 uS/cm, y representa, según esta clasificación, una peligrosidad salina baja. Puede usarse para el riego de todos los cultivos en casi todos los suelos, sin que sea probable que se desarrollen condiciones de salinidad que puedan afectar los rendimientos normales. (Mugni, 2011)

La Clase C3 es un tipo de agua de salinidad media, debe usarse en suelos de permeabilidad moderada a buena, y aun así, efectuar riegos de lavado para evitar que se acumulen las sales en cantidades Manual de uso e interpretación de aguas nocivas para las plantas. Deben seleccionarse cultivos con tolerancia a la salinidad. (Jarsun 2008)

➤ Problemática

Los habitantes de la región reportaron que la mayoría de dichas lagunas y zonas pantanosas, han venido sufriendo un descenso paulatino de sus niveles, durante los últimos 10 años. (Ibíd.)

5.1.2 Sistema acuífero Valle del Cauca

La información correspondiente al sistema acuífero Valle del Cauca se obtuvo del estudio realizado por la CVC en 2007 llamado Caracterización Hidrogeoquímica e Isotópica del Acuífero Aluvial del Valle del Cauca. Al igual se tomó como base otro estudio importante realizado por la misma entidad en 2000 llamado Plan de Manejo para la Protección de las Aguas Subterráneas en el Departamento del Valle del Cauca y un documento generado por Páez para la misma entidad en el año 2004 denominado las Aguas Subterráneas Importancia y Perspectivas en el Valle del Cauca- Colombia.

➤ Localización geográfica

Se encuentra ubicado en la zona Plana del Departamento del Valle del Cauca al Suroccidente de Colombia y corresponde al Valle geográfico del río Cauca con una extensión de 317.595 Hectáreas como se observa en la figura 15. (Páez, 2004) citado por (IDEAM, SP)

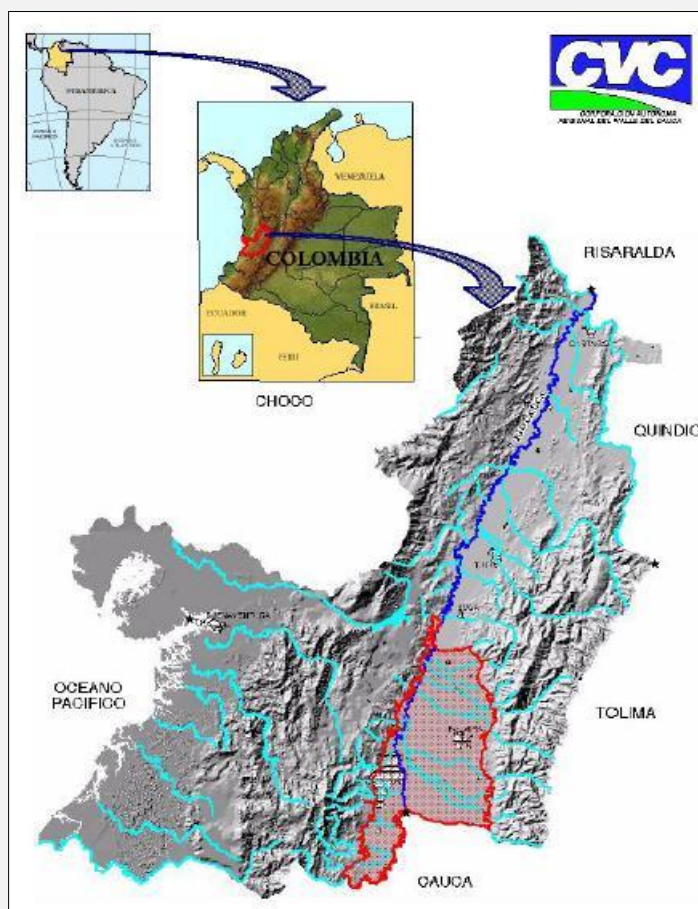


Figura 15. Ubicación del sistema acuífero del Valle del Cauca.
Fuente: (CVC, 2013)

➤ Generalidades hidro - climáticas

La precipitación varía entre 900 y los 2.200 mm/año. Las precipitaciones más bajas se presentan en el valle geográfico del río Cauca y hacia el centro de la cuenca del río Amaime, sector de Aují, mientras que las mayores se dan en la parte media y alta, variando entre los 1.800 mm/año en el norte y 2.200 mm/año en el sur. Hacia la zona del páramo de las Hermosas (oriente) alcanza los 1.400 mm/año. (CVC, 2002)

➤ Ambiente geológico

“Los sedimentos del subsuelo en la zona plana del departamento del Valle del Cauca, están constituidos por un importante relleno aluvial en un área de 3400 km² aproximadamente. Estos sedimentos han sido depositados por el río Cauca y sus afluentes”. (CVC, 2000. pp.15)

El sistema acuífero al sur del departamento tiene unos 40 Km de ancho y más de 1000 m. de profundidad en el sector de Malimbú, municipio de Palmira, mientras que al norte es más estrecho y de menor profundidad. Los sedimentos permeables de los acuíferos del relleno aluvial están intercalados entre capas de arcilla y limos de origen orgánico e inorgánico con espesores desde unos pocos metros hasta más de 60m; también se presentan niveles de madera y materia orgánica en descomposición. (Ibíd.)

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

Sobre la llanura aluvial del río Cauca se identifican tres sistemas acuíferos muy bien definidos (A, B y C) y su descripción se puede observar en la figura 16. (CVC, 2000, pág. 6)

Es importante resaltar las características hidráulicas y productivas correspondientes a la Unidad A en el relleno aluvial son Transmisividad (T): 300 - 2200 m² / día, Permeabilidad (K): 5 - 55 m / día alta y el Coeficiente de almacenamiento (S): 1.0 x 10⁻³ - 5.6 x 10⁻³. (Ibíd., pág. 19)

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
A	Los acuíferos de esta unidad son libres y semiconfinados principalmente con un espesor entre 60 y 150 m con un promedio de 120m con un 35% a 40% de sedimentos permeables. (CVC. 2000. pp.16). Más del 90 % de los pozos construidos en el departamento del Valle del Cauca están aprovechando la unidad A. (CVC, 2000, pág. 6) Los sedimentos permeables corresponden a gravas y arenas con guijarros desde muy finos en la llanura aluvial y partes bajas de los conos aluviales hasta cantos rodados y bloques en las partes medias y altas de los conos aluviales con intercalaciones de limos y arcillas.
B	Se encuentra entre los 120 y 200 m con un promedio de 60 m. Está compuesta en su mayoría por arcillas con intercalaciones de arenas y gravas finas de poco interés hidrogeológico. Sirve como techo confinante de la unidad C. (CVC, 2000, pág. 18)
C	El techo de la unidad coincide con la unidad B, sin embargo la geometría de esta unidad aún no está bien definida. Se han encontrado perforaciones de 250, 400 y hasta 1000 m. La buena producción, excelente calidad del agua y baja vulnerabilidad de los acuíferos de la unidad C los convierten en una excelente alternativa como fuente de agua potable para el abastecimiento público en la zona plana del departamento del Valle del Cauca.

Figura 16.Unidades de importancia hidrogeológica del acuífero del Valle del Cauca. CVC. (2000). PMAS del Departamento del Valle del Cauca (págs. 6-18).

➤ Resultados Isotópicos

La utilización de las técnicas isotópicas permitió establecer la dinámica de la circulación del agua; aguas someras con tiempos de renovación menores a los 50 años y aguas antiguas con flujos muy lentos con tiempos de renovación lentos alrededor de los 20.000 años. Se logró comprobar la existencia de un solo acuífero aluvial multicapa con dos niveles superior e inferior A y C de un gran potencial de agua subterránea. (CVC C. A., 2007)

➤ Puntos de agua y usos

Según datos de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca el sector agrícola representa la mayor demanda de agua subterránea en la zona de estudio.

Según el inventario de pozos existen 2006 pozos de los cuales el uso agrícola tiene 1064 pozos, representando 53,04% del total de pozos y con un caudal de 116,219 l/s. El uso industrial tiene 261 pozos, representando 13,01% del total de pozos y con un caudal de 9,75 l/s. El uso para abastecimiento público tiene 230 pozos, representando 11,47% del total de pozos y con un caudal de 5,7 L/s. El porcentaje restante el 22,48% del total de pozo y se debe a pozos abandonados o que están en estudio. (Ibíd.)

➤ Dinámica de flujo y recarga

La dirección general del flujo subterráneo sobre los conos aluviales y llanura aluvial es normal al cauce del río Cauca y sobre los depósitos del río en las proximidades de este se torna paralelo al río en dirección sur - norte. La descarga de los acuíferos de la Unidad A se produce en la zona próxima al río Cauca y constituye el flujo base del río. (CVC, 2000, pág. 23)

La recarga de los acuíferos se produce en la zona de fallas, los conos y los cauces aluviales de los ríos afluentes del Cauca. La piezometría permite ubicar con buena aproximación las zonas de recarga (flujo divergente) y de descarga (flujo convergente), así como las zonas con niveles deprimidos por sobre-explotación del recurso.

La piezometría de los acuíferos de la Unidad C no se ha podido definir por la poca información existente y se cree que su recarga se está produciendo a través de los sistemas de fallas de Romeral y Cauca Patía. La recarga natural anual es de (110,7m³ / seg).

En la figura 17 podemos observar el modelo hidrogeológico conceptual realizado por la CVC.

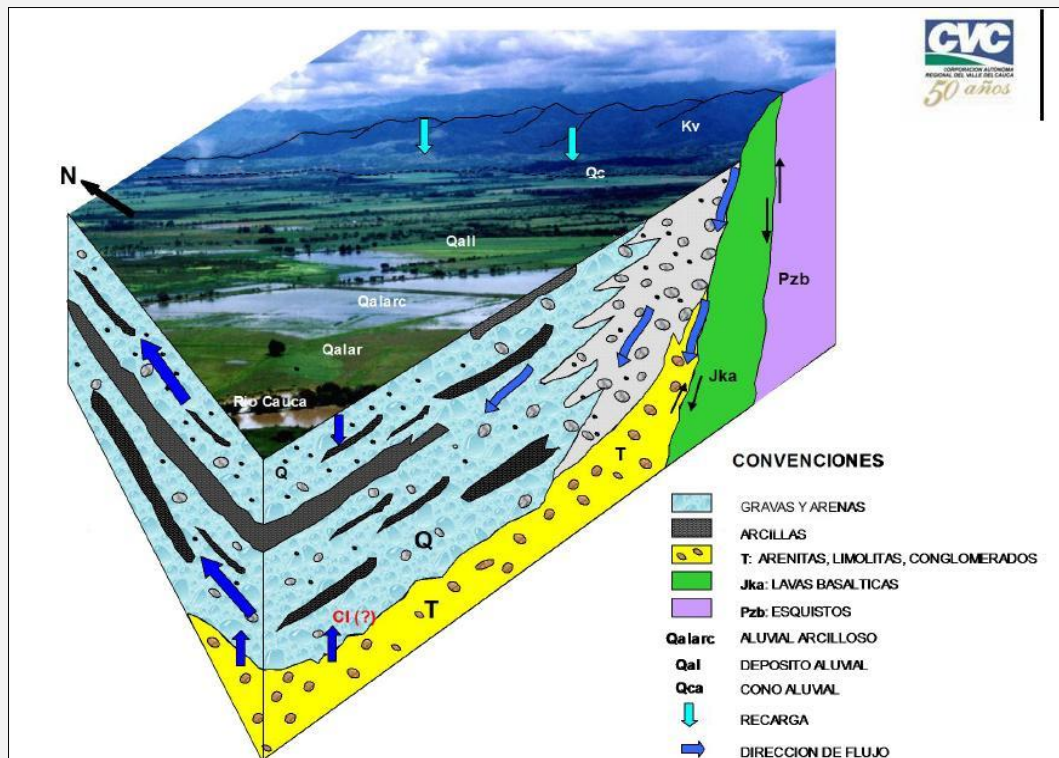


Figura 17. Representación 3D del Modelo Hidrogeológico Conceptual del sistema acuífero del Valle del Cauca realizado por la CVC.

Fuente: (CVC, 2013)

➤ Calidad

En el 85% del área de estudio, predominan las aguas subterráneas calificadas regionalmente como muy buenas a buenas. Esta clase de agua puede utilizarse en la mayoría de los casos sin restricciones importantes. Las aguas subterráneas calificados como regulares a objetables, alcanzan solo un 10% del área total, y se encuentran localizadas norte de Obando y la casi totalidad del municipio de Cartago, la del sector occidental de Candelaria que comprende El Carmelo, San Joaquín y Pueblito Campestre, la parte central del municipio de Palmira a la altura del aeropuerto de Palmaseca, el sector central del municipio de San Pedro, el sector oriental del municipio de La Victoria y Zarzal, la parte occidental del municipio de La Unión y una franja delgada y larga colindando con el río

Cauca entre la desembocadura de los ríos Tuluá y Bugalagrande. Este tipo de agua requiere de algún tipo de tratamiento para ser utilizada. (Ibíd.)

➤ Problemática

En ciertas áreas se han detectado problemas específicos en cuanto a la contaminación de los acuíferos, especialmente por vertimientos industriales, urbanizaciones sin sistemas de saneamiento adecuados, lagunas de tratamiento mal construidas e infiltración de lixiviados provenientes de basureros mal establecidos. (Páez, 2004, pág. 5)

La vulnerabilidad en el Valle muestra que hacia las partes altas y medias de los conos aluviales entre Candelaria y Guacarí se presentan áreas muy importantes con vulnerabilidad altas y extremas, al igual que en los sectores de Tarragona y Chococito, Buchitolo, El Tiple, Villagorgona, La Regina, El Bolo, El Carmelo y al norte de Juanchito en el municipio de Candelaria; Aguaclara y todo el piedemonte en el municipio de Palmira. Los depósitos aluviales de los ríos Tulúa y Bugalagrande son un caso típico de vulnerabilidad alta y extrema.

En el municipio de Cali son críticos los sectores de Navarro, Cascajal y el cono de Pance. El cono del río Claro en el municipio de Jamundí debe ser tenido en cuenta como un área crítica con vulnerabilidad extrema, donde se está presentando la recarga de acuíferos muy importantes con excelentes rendimientos y calidad del agua.

En general toda la llanura aluvial del departamento y las partes bajas de los conos aluviales presentan baja vulnerabilidad debido principalmente a que el mapa de condición

de acuífero muestra esta área con acuíferos confinados y semiconfinados y la litología predominante en la zona no saturada corresponde a sedimentos arcillosos. (Ibíd.)

5.2. Complejo ígneo-metamórfico de la región Andina de Occidente

La cordillera central, está formada por rocas ígneas (intrusivas volcánicas y metamórficas, del Paleozoico y Mesozoico), aunque los edificios volcánicos más altos son de edad terciaria. La cordillera Occidental presenta una composición mixta de rocas volcánicas y sedimentarias, en su mayor parte mesozoicas. (Mesa, 1997, pág. 89)

De los sistemas acuíferos dentro de esta unidad hidrogeología se pueden presentar cuerpos de agua subterráneos en la secuencia sedimentaria clástica del sistema acuífero Santagueda, donde, existen importantes zonas de recarga en los depósitos recientes del mismo sistema acuífero. Se debe añadir que la calidad del agua no es buena debido a que en algunos puntos presentan hierro, por lo que debe ser tratada si va a ser usada para consumo humano. Por otro lado, el sistema acuífero del Valle de Aburrá rebosa sobre un basamento metamórfico, donde se describen tres acuíferos y se evidencia la contaminación de uno de ellos. También se exponen tres unidades hidrogeológicas del sistema acuífero del Bajo Cauca Antioqueño mostrando el tipo de acuíferos que se encuentran en la zona y se hace un especial llamado de atención pues la sostenibilidad del recurso se ve comprometida por la explotación no planificada y el uso inadecuado del suelo en zonas de recarga. Finalmente,

el sistema acuífero de Glacis del Quindío, representa un reservorio importante de agua subterránea compuesto por sedimentos aluviales del río Cauca y del río Risaralda, pero presenta indicios de contaminación, por lo que se recomienda realizar monitoreos paulatinos, para poder detectar a tiempo fuertes afectaciones por presencia de plaguicidas e hidrocarburos en el recurso hídrico.

5.2.1 Sistema acuífero Santafé de Antioquia

La información correspondiente al sistema acuífero Santafé de Antioquia se obtuvo del estudio realizado por Vélez en 2008 para la Universidad Nacional de Colombia llamado Determinación de la Recarga con Isótopos Ambientales en los Acuíferos de Santafé de Antioquia.

➤ Localización geográfica

El sistema acuífero se encuentra ubicado en el sector septentrional de los Andes Colombianos, en el centro-occidente del departamento de Antioquia. Está conformado por la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental, el cañón del río Cauca y el extremo más occidental del altiplano Páramo de Belmira – Páramo de Sonsón en jurisdicción de los municipios de Buriticá, Santa Fé de Antioquia, Sopetrán, Liborina, San

Jerónimo, Olaya, Belmira y San Pedro de los milagros como se puede observar en la figura 18. (Vélez, 2008)

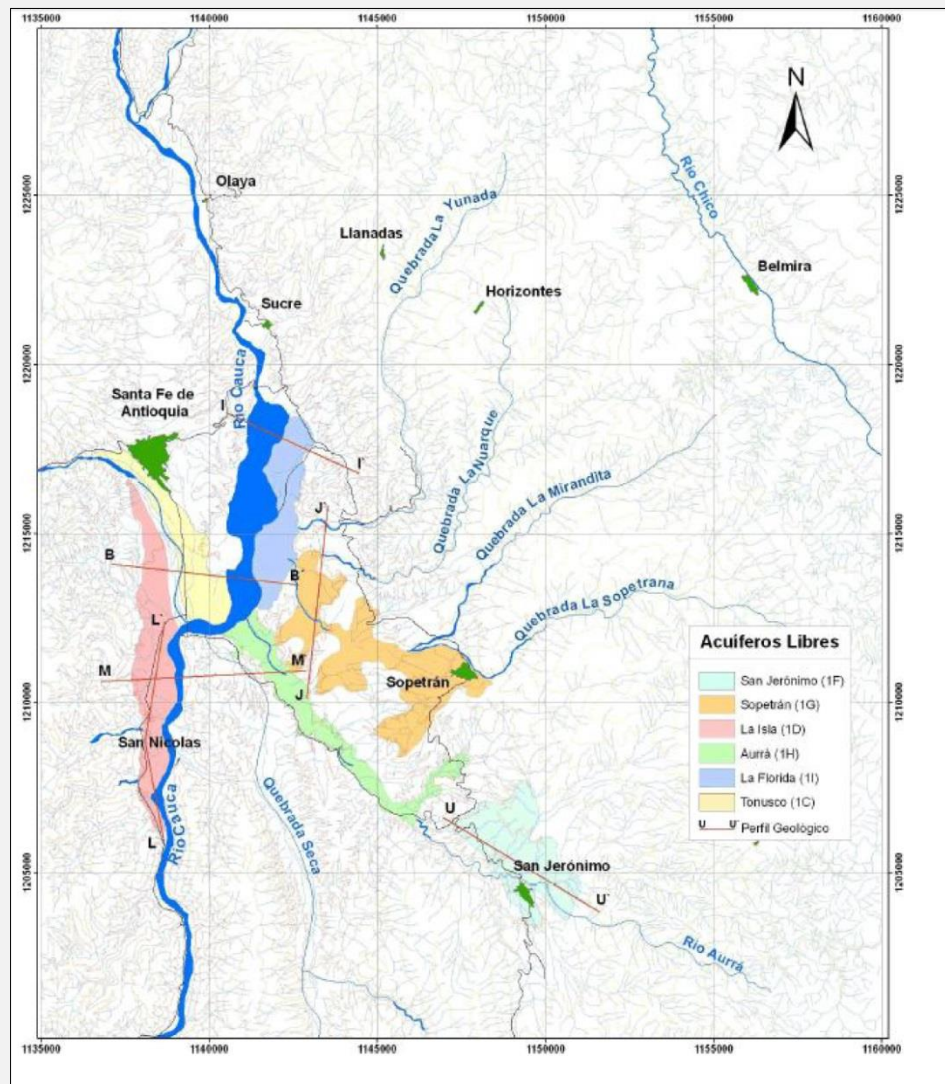


Figura 18. Ubicación del sistema acuífero de Santafé de Antioquia.

Fuente. Adaptado de Vélez 2008, Pág. 86

➤ Generalidades hidro - climáticas

La precipitación muestra la clara influencia que tiene la topografía en su variabilidad espacial. En el fondo del valle del río Cauca se presentan los valores más bajos

de precipitación (850 - 959 mm/año), las cuales van aumentando conforme a la elevación del terreno para alcanzar valores máximos de (2200 mm/año) en las zonas más altas. Sin embargo se presentan algunos efectos locales, como por ejemplo, el altiplano de San Pedro y la zona al norte de la cuenca del río Tonusco donde se presenta una disminución en la lluvia que puede estar relacionada con circulaciones locales, así como la parte alta de la cuenca de la quebrada la García donde se presenta un aumento importante de la precipitación con relación a la tendencia en sus zonas adyacentes. (Ibíd)

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

En un estudio realizado por UNAL (2004) se dividió la zona en 7 sectores al interior de los cuales se presentan las unidades acuíferas de la zona de estudio: Tonusco, La Isla, La Florida, Tunal, Aurrá, Sopetrán y San Jerónimo. (IDEAM, SP)

➤ Resultados Isotópicos

Los contenidos isotópicos del agua subterránea en la zona de estudio varían entre 10.4‰ y 7.5‰ con una media de 9.9 unidades de δ para el ^{18}O ; y entre 76.7‰ y 61.6‰ con una media de 72.2 unidades de δ para el D (2H). Los manantiales a su vez presentan valores entre 12.9‰ y 9.8‰ con una media de 10.9 unidades de δ para ^{18}O , y entre 95.1‰ y 70.6‰ con una media de 77.3 unidades de δ para el D. (Óp. Cit.)

Las muestras de aguas subterráneas pertenecientes a la misma unidad acuífera presentan en general valores isotópicos semejantes incluidos dentro de los rangos mencionados en el párrafo anterior, con algunas excepciones como San Judas y La Jodelina que se alejan de este comportamiento. (Ibíd.)

5.2.2 Sistema acuífero Santagueda

La información correspondiente al sistema acuífero Santagueda se obtuvo del estudio realizado por González en año 2006 para CORPOCALDAS llamado Protección de la Calidad del Agua Subterránea - Definición de Estrategias y Establecimiento de Prioridades. También se adquirieron datos del estudio realizado por Quiroz & Cadavid en 1999 para CORPOCALDAS titulado Monitoreo al Recurso Hídrico Subterráneo del Km 41 y Santagueda. De la misma manera, se extrajo información del estudio realizado por CORPOCALDAS en 1998 llamado Contribución a la Evaluación Hidrogeológica, Susceptibilidad a Fenómenos Volcánicos, Caracterización de Áreas Fuentes de Sedimentos y Morfotectónica de las Fallas Probablemente Activas en la Cuenca del Río Chinchiná (Caldas).

➤ Localización geográfica

El Sistema acuífero Santagueda se encuentra localizado en el flanco occidental de la cordillera central, en la parte baja de la cuenca del río Chinchiná entre los municipios de Manizales y Palestina, departamento de Caldas, como se observa en la figura 19. (Quiroz & Cadavid, 1999)



Figura 19. Ubicación del sistema acuífero de Santagueda.

Fuente: Google © earth 2013

➤ Generalidades hidro - climáticas

La zona está integrada por diferentes fuentes hídricas superficiales como los son el río Cauca, Chinchiná y Guacaica; además está compuesta por varias quebradas tales como Llano Grande, Carminales, La Ruidosa y Tres Puertas; sin embargo la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo son los aljibes y pozos del sector. (Quiroz & Cadavid, 1999)

➤ Ambiente geológico

Se encuentra dentro de la cuenca sedimentaria de Irra, la cual se ha desarrollado desde el terciario medio y es controlada tectónicamente por el sistema de fallas Cauca Romeral. Los sedimentos que conforman esta cuenca están depositados sobre rocas volcánicas de la formación Barroso al sur y sobre rocas metamórficas de los esquistos de Lisboa Palestina al Norte; el mayor aporte de sedimentos para esta cuenca está dada por la cordillera central especialmente por el complejo volcánico Ruiz Tolima. (Gonzáles, 2009)

La geomorfología del área se encuentra desarrollada sobre las secuencias sedimentarias clásticas y volcanoclastica.

La zona se caracteriza por su topografía plana, colinas suaves y redondeadas, laderas largas y rectas. El patrón de drenaje en el área es dendrítico con densidad baja formando valles en "V" asimétricos y con disección media. La zona está delimitada por taludes con alta pendiente. (Ibíd.)

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

Desde el punto de vista de la capacidad de almacenar agua se identifican tres unidades hidrogeológicas:

Rocas ígneas y metamórficas: Constituidas por rocas pertenecientes al Complejo Arquía, Complejo Quebrada grande y las rocas volcánicas de la Formación Barroso, su capacidad para almacenar y transmitir el agua depende del grado de fracturamiento, de la tendencia general del mismo y la abertura de las fracturas. (Quiroz & Cadavid, 1999)

Secuencia sedimentaria clástica: Esta unidad hidrogeológica es la que presenta mayor capacidad de almacenar y transmitir agua en la zona, convirtiéndose así en la mejor unidad acuífera del área.

Depósitos recientes: Constituidos por las terrazas y depósitos volcanoclastica de los ríos cauca, Chinchiná, Guacaica y Quebrada Llano Grande, pero los que actualmente representan una importante fuente de agua son los depósitos de terraza en el sector de Santágueda. (Ibíd.)

➤ Puntos de agua y usos

Teniendo en cuenta las características del acuífero encontradas en estudios realizados se concluye que es de buena calidad y que su capacidad de producción es apta para uso industrial municipal, de riego si se explora por medio de pozos profundos o de uso doméstico si se explora por medio de aljibes.

➤ Dinámica de flujo y recarga

Se identificaron tres zonas de recarga.

Zona de recarga 1: está localizada en Santágueda y la recarga se debe a que en este lugar se filtra el agua lluvia del sector y se concentra e infiltra el agua de escorrentía que viene de las laderas vecinas. Este lugar coincide con el sector donde se conectan los Ríos Guacaica y Chinchiná, indicando así que este acuífero alimenta estas corrientes superficiales. (CORPOCALDAS, 1998)

Zona de recarga 2 y 3: éstas son elevaciones topográficas del terreno, lo que lleva a pensar que la permeabilidad de los depósitos sedimentarios (lodos, escombros, terrazas, arenitas y conglomerados) se hace mayor en este sector, permitiendo una fácil infiltración tanto de las aguas lluvias como de la escorrentía. La Zona de descarga 2 se representa al Km 41 y es causada por la unión de varios depósitos de los Ríos Cauca Chinchiná, Guacaica y la Quebrada Llano Grande. También se cree que el acuífero alimenta también al río Cauca. La Zona de descarga 3: esta es una zona intermitente y se debe a la sobre explotación que se hace la acuífero en este sector. (Ibíd.)

➤ Calidad

En algunos análisis realizados se determinó que el agua no se caracteriza como potable debido a que la concentración de hierro sobrepasa los niveles admisibles, lo que hace necesario realizar un tratamiento antes de utilizarla para consumo humano. (Quiroz & Cadavid, 1999)

➤ Problemática.

Las problemáticas en cuanto a la degradación del recurso hídrico se ven reflejadas en mayor medida por la actividad minera desarrollada de manera inadecuada, repercutiendo en la deforestación, desertificación y deterioro de los suelos. Al haber pérdida de cobertura vegetal en afloramientos o cauces (debido a tala, expansión de sistemas productivos), procesos erosivos (por tráfico de animales, infraestructura en deterioro, taponamiento de cauces), contaminación (por asentamientos humanos y actividades productivas aguas arriba. Será cada vez más difícil satisfacer la demanda de los usuarios ya que la oferta actual resulta ser insuficiente. (CORPOCALDAS, 2013)

5.2.3 Sistema acuífero Valle de Aburrá

La información correspondiente al sistema acuífero Valle de Aburrá se obtuvo del estudio realizado por Campillo en 2012 llamado Orígenes de la Recarga del Acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque Geoquímico e Isotópico, y del Informe De

La Red de Monitoreo Ambiental en la cuenca hidrográfica del río aburrá en jurisdicción del Area Metropolitana en el año 2011.

➤ Localización geográfica

El sistema acuífero está localizado en el centro del departamento de Antioquia en la Cordillera Central y cubre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), que comprende las ciudades de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, Sabaneta, Caldas y La Estrella como se observa en la figura 20. (Campillo, 2012)

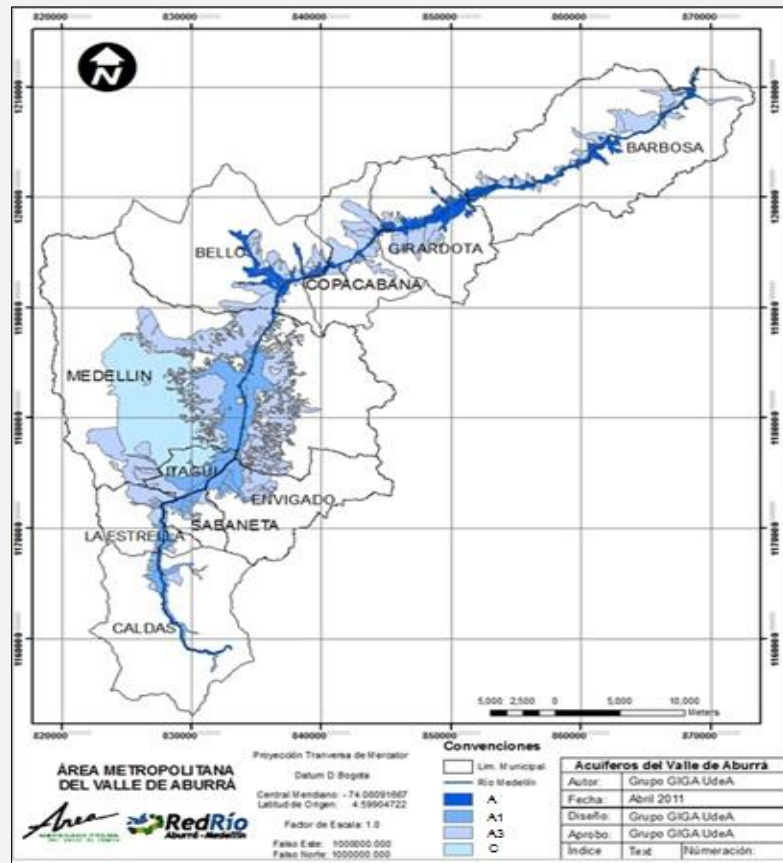


Figura 20. Ubicación del sistema acuífero Valle de Aburrá.
Fuente: AMVA. (2011).

➤ Generalidades hidro - climáticas

El régimen de lluvia es bimodal, con dos épocas lluviosas (abril-junio, septiembre-noviembre) que corresponde al paso de la ZCIT, y dos épocas relativamente secas (diciembre-marzo, junio-agosto). La precipitación media anual es de 1500 mm y la temperatura media mensual fluctúa entre 16°C y 29°C, (Universidad de Antioquia & Integral, 2002). El río Medellín o Aburrá, es el curso de agua principal y atraviesa toda la zona de estudio desde el Sur hasta el Norte. (AMVA, 2011)

➤ Ambiente geológico

El Valle reposa sobre un basamento metamórfico (Maya & González, 1995), datado del paleozoico recubierto por rocas ígneas del cretáceo y una secuencia volcánico - sedimentaria llamada Formación Quebrada Grande (Nivia et al. 1996; Restrepo & Toussaint, 1984). Así como de depósitos de vertientes y de los depósitos de aluvión más recientes (Aristizábal & Yokota, 2008) citado por (IDEAM, SP)

Las rocas metamórficas presentes en la zona están conformadas por esquistos, anfibolitas y neis. Las rocas ígneas corresponden básicamente a las granodioritas del Batolito Antioqueño y del batolito de Ovejas, dunitas presentes en Medellín y en Envigado.

En la zona de estudio se encuentra la secuencia sedimentaria de La Culebra-La Llorona que es datada del Cretáceo al Cuaternario. Las formaciones superficiales son de edad Cuaternaria y están constituidas principalmente por los depósitos de lodo y escombros.

Los depósitos de deyección del río Medellín y sus afluentes hacen parte también de estas formaciones y comprenden la planicie aluvial del río Medellín, las terrazas aluviales de poca extensión, conos de deyección y depósitos de origen torrencial, constituidos principalmente por limos, arcillas, arenas y gravas. Los depósitos superficiales parcialmente consolidados y no consolidados y los depósitos de vertiente hacen parte también de esta formación. (Ibíd.)

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

En el Valle de Aburrá se han identificado dos acuíferos:

A1: corresponde a un acuífero libre, presente en toda la zona de estudio con espesor variable entre algunos centímetros hasta 99 m. En la parte norte, esta unidad es llamada A, constituyendo únicamente la continuidad del nivel A1, con ausencia del otro acuífero. (AMVA, 2011). La presencia y el movimiento del agua están ligados a los depósitos del río Medellín formado por arenas, gravas.

A2: se encuentra al Suroeste de la ciudad de Medellín hasta el municipio de Sabaneta. Corresponde a un acuífero semi-confinado separado de A1 por una capa con débil permeabilidad de espesor variable (B1).

Además AMVA (2011) plantea el tener en cuenta además de esos acuíferos, los depósitos de vertientes, a los cuales denominan como una unidad A3 asimilándolas a un acuífero libre y a los saprolitos de rocas duras y fisuradas con porosidad secundaria.

Los valores de transmisividad (T) varían entre 0,15 – 53,89 m²/día y los valores de permeabilidad (k) varían entre 0,02 – 53,89 m/día.

➤ Resultados Isotópicos

En el estudio realizado por Campillo (2012), se evidenció la recarga del río Medellín hacia el acuífero A1, además se infiere la conexión hidráulica entre los dos acuíferos (A1 y A3). No fue posible establecer las zonas de recarga por técnicas isotópicas, debido a que la precipitación estuvo influenciada fuertemente por el Fenómeno de la Niña en el año 2011, 2012, lo cual interfirió enormemente en los resultados isotópicos, de ahí la importancia de tener varios años de estudio para sacar conclusiones más precisas. (IDEAM, SP, pág. 172)

➤ Puntos de agua y usos

De las 416 captaciones inventariadas como activas, 127 son de uso industrial, 88 de uso doméstico y 201 de lavado de vehículos, siendo este último el de mayor actividad reportada por los usuarios. (AMVA 2011, Óp. Cit.)

➤ Dinámica de flujo y recarga

Del estudio realizado por AMVA (2011) se infiere que el agua subterránea fluye desde las vertientes hacia el río Medellín.

De acuerdo a los balances hídricos realizados por Universidad de Antioquia & Integral (2002), teóricamente la recarga se daría en todo el año, puesto que la precipitación

excede a la evapotranspiración, con excepción de los meses de enero y diciembre, donde estas variables tienen prácticamente el mismo valor.

La zona con potencial alto de recarga, corresponde a las zonas localizadas en las áreas con pendientes planas (entre 0° y 4°) asociadas al río Medellín y en algunos afluentes en los municipios de Barbosa y Girardota, además en la quebrada La Miel del municipio de Caldas.

La zona con potencial moderado de recarga, corresponde a las áreas localizadas en las partes bajas y medias de las vertientes con inclinación leve, finalmente la zona con potencial bajo de recarga, corresponde a las zonas planas localizadas en las partes bajas de las vertientes, presentando pendientes medias de hasta 15° . (Ibíd.)

➤ Calidad

Campillo (2012), concluye que el acuífero A3, está caracterizado por aguas bicarbonatadas cálcicas-magnésica-sódicas, mientras que el acuífero A1 se encuentra disperso entre el polo bicarbonatado y el clorurado sódico, asociado éste último, a la contaminación por actividades antrópicas, a la interacción con el río Medellín y a la recarga artificial desde las fugas del alcantarillado. (IDEAM, SP, pág. 172)

5.2.4 Sistema acuífero Bajo Cauca Antioqueño

La información correspondiente al sistema acuífero Bajo Cauca Antioqueño se obtuvo del estudio realizado por la Universidad de Antioquia y CORANTIOQUIA en 2011 llamado Plan de manejo ambiental de acuíferos -PMAA.

➤ Localización geográfica

La subregión del Bajo Cauca antioqueño está localizada al norte del departamento de Antioquia. Está conformada por seis municipios ubicados sobre la cuenca baja del sistema fluvial Cauca-Nechí, los cuales son: Caucasia, Cáceres, Tarazá, Zaragoza, El Bagre y Nechí, como se observa en la figura 21. (UDEA & CORANTIOQUIA, 2011)



Figura 21. Ubicación del sistema acuífero del Bajo Cauca Antioqueño.
Fuente Google © earth 2013

➤ Generalidades hidro - climáticas

La planicie aluvial del territorio de Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, y Zaragoza, está bañada por los ríos Man, Cauca, Cacerí y Nechí y cientos de pequeños afluentes. En esta inmensa llanura, flanqueada por montañas, se forman numerosas ciénagas con una extensión de más de 40.000 hectáreas, conectadas con los ríos mediante caños, formando complejos sistemas de lagos, pozas, pantanos y playones que retienen el agua de las crecientes y la liberan lentamente en el estiaje.

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

El sistema acuífero del Bajo Cauca antioqueño está conformado por tres unidades hidrogeológicas, son ellas la unidad hidrogeológica U123, la unidad U4 y la unidad U5 y se describen en la figura 22. Para la unidad U123 la conductividad hidráulica varía entre 1 y 2 m/día con zonas en las que se llega a 3 m/día. (Ibíd., pág. 29)

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
U123	Se conjugan, cubiertas por una delgada capa de suelo, los depósitos aluviales de los ríos Cauca, Man, Nechí y Cacerí y el Saprolito poco consolidado de las rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno del Miembro Superior de la Formación Cerrito. U123 tiene el carácter de acuífero libre y su extensión abarca toda la planicie del área. Tiene espesores variables que llegan hasta los 90 m.
U4	La Unidad hidrogeológica U4 subyace en toda el área de estudio a la unidad U123, está constituida por el Miembro Medio de la Formación Cerrito. U4 tiene el carácter de acuitardo aunque en ella existen varias captaciones desde las cuales se extrae agua para satisfacer demandas domésticas. En el centro del área se alcanzan los 160 metros, al norte aproximadamente 20 metros y al sur son inferiores a 10 metros.
U5	Correspondiente al Miembro Inferior de La Formación Cerrito constituye un acuífero confinado regional en el Bajo Cauca antioqueño, sus espesores varían entre 10 y más de 100 metros, esta unidad poco explorada y explotada podría constituir una importante reserva de agua subterránea para la subregión; al igual que los espesores la profundidad de la base de U5 es incierta llegando a superar seguramente los 260 metros.

Figura 22. Unidades hidrogeológicas del sistema acuífero Bajo Cauca Antioqueño.

Fuente. Adaptado de UDEA & CORANTIOQUIA. (2011). Plan de manejo ambiental de acuíferos - PMAA. (págs. 32-33). Universidad de Antioquia y Corporación Autónoma Regional de Antioquia.

➤ Resultados Isotópicos

De Palacio y Betancur (2007), se concluye que la recarga del acuífero libre se produce de manera directa desde el agua precipitada localmente y después de sufrir en algunos casos algo de evaporación. Siendo el agua almacenada en U4 y U5 un agua con tiempo de residencia superior a 60 años. (IDEAM, SP, pág. 176)

Gracias a la utilización de técnicas hidroquímicas e isotópicas fue posible establecer la conexión entre el acuífero libre y el humedal Ciénaga Colombia. (Santa et al, 2008) citado por (Ibíd.)

➤ Puntos de agua y usos

Desde captaciones tipo aljibe se extrae agua principalmente para abastecimiento doméstico (62.3%) o abastecimiento público (11.1%). En actividades de ganadería se utiliza el 13.2% del agua que se capta del acuífero libre, los demás usos presentan porcentajes inferiores al 10%. (Óp. Cit. pág. 39)

El principal uso del agua subterránea extraída de los pozos es el abastecimiento doméstico (26.2%), la irrigación 18.9%, el abastecimiento público 17.1%, la recreación 2.2%. (Ibíd.)

El agua de los manantiales se usa en igual porcentaje en la ganadería y el abastecimiento doméstico, un pequeño porcentaje (8.4%) se destina para irrigación.

➤ Dinámica de flujo y recarga

Para la unidad hidrogeológica U123, se identificaron tres fuentes de recarga: i) una recarga distribuida a lo largo y ancho de la planicie ocasionada por la infiltración directa del agua lluvia, ii) se produciría recarga a través de la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficial como lo son los ríos Cauca y Man y desde algunas ciénagas y jagüeyes, iii) finalmente se daría recarga lateral indirecta desde la roca metamórfica encajante del sistema regional.

La recarga de U4 se daría a través de la conexión vertical con las unidades U123 desde la que se produciría goteo y U5 desde la cual podría haber ascensos ocasionados por efecto de flujo pistón. La fuente de recarga para U5 estaría asociada a áreas distantes localizadas en el piedemonte a alturas entre 300 y 1000 m.s.n.m., habrían también algunos aportes verticales por goteo desde U4. (Ibíd. Pág, 34)

➤ Calidad

En términos generales, el 21% de las captaciones no cumplen el criterio de color, el 19.7% con el de turbiedad, el 22% el de alcalinidad, el 19.7% de las muestras superan el valor admisible de hierro total y el 62% está por fuera de los rangos de pH, la demanda química de oxígeno -DQO- y los nitritos registran el 13% y 11% de muestras por fuera de los rangos permitidos para esos parámetros.

En todos los sitios y en todos los muestreos realizados se han encontrado presentes concentraciones variables de coliformes, situación no deseada en agua para consumo humano. (UDEA & CORANTIOQUIA, 2011)

➤ Problemática

Según los resultados obtenidos en la evaluación del Índice de Vulnerabilidad Humana, hay predominio de la clase moderada en todos los municipios, obteniendo el porcentaje más alto en el municipio de Nechí con el 100%, seguido por Cáceres con el 86%. Lo anterior se da por la alta influencia que tiene en el índice, el componente de Exposición que obtuvo resultados con predominio de clase baja. La Fragilidad Socioeconómica y la Falta de Resiliencia obtuvieron valores altos. Por lo tanto se infiere que los temas socioeconómicos como cobertura de servicios públicos, ingresos, salud, educación y cultura deben ser mejorados para disminuir la Vulnerabilidad Humana en el Bajo Cauca antioqueño, al igual que se evidencia la necesidad del desarrollo de instrumentos y acciones que contribuyan a mejorar la capacidad de respuesta de las comunidades ante el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

La sostenibilidad de este recurso se ve comprometida no sólo a la explotación no planificada que se hace de él sino, y principalmente, también por los inadecuados usos del suelo en zonas de recarga. Las actividades mineras y agropecuarias y el desarrollo urbano sin saneamiento representan francas amenazas a la calidad del agua subterránea y en consecuencia generan un riesgo para los ecosistemas acuáticos y para la población que la consume. (Ibíd. Pág, 63)

5.2.5 Sistema acuífero Altiplano Nariñense

La información correspondiente al sistema acuífero Altiplano Nariñense se obtuvo del estudio realizado por Bermoudes en 2009 para el INGEOMINAS llamado Evaluación hidrogeológica regional del Altiplano Nariñense. Subdirección de Recursos del Subsuelo.

➤ Localización geográfica

El sistema acuífero pertenece a la región fisiográfica conocida como el altiplano Túquerres-Ipiales como se observa en la figura 23. (Bermoudes, 2009)



Figura 23. Ubicación geográfica del Altiplano nariñense.
Fuente: Google © earth 2013

➤ Generalidades hidro - climáticas

La precipitación anual en la gran parte del área presenta valores inferiores a 1000mm. Es de anotar, que aunque el régimen pluviométrico bimodal es bien definido, es decir existen dos periodos de mayor pluviosidad, el número de días con lluvia a nivel mensual es relativamente constante sumando anualmente los 215 días aproximadamente. Hidrográficamente el área pertenece a la cuenca del río Guáitara, el principal receptor de aguas superficiales y subterráneas. (Bermoudes, 2009)

➤ Ambiente geológico

Las unidades litoestratigráficas presentes en el área se pueden agrupar en dos grupos básicos. El primer grupo corresponde a lavas e ignimbritas del Neógeno -- Pleistoceno, mientras que el segundo grupo comprende los depósitos volcánicos no consolidados del Cuaternario, que provienen esencialmente de los complejos volcánicos del Azufra, Cumbal, Chiles-Cerro Negro, Pajablanca y algunos volcanes de la cordillera Real Ecuatoriana. Las unidades recientes de origen aluvial, lacustre y de pendiente presentan extensiones muy limitadas. La segunda unidad constituye un sistema hidrogeológico muy complejo, heterogéneo y anisotrópico.

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

El sistema hidrogeológico consiste en una alternación de unidades potencialmente acuíferas y acuitados de extensión y espesores variables, donde se desarrollan acuíferos libres, semiconfinados y confinados de características hidráulicas relativamente bajas. Los acuíferos libres, semiconfinados y confinados forman un sistema hidráulico único. (Ibíd.)

➤ Puntos de agua y usos

Del estudio realizado por Bermoudes (2009), se infiere que en el área existe un total de 353 captaciones de agua subterránea, de las cuales 307 corresponde a aljibes, 8 a pozos y 38 a manantiales. (IDEAM, SP, pág. 178)

El agua se utiliza principalmente para el consumo doméstico beneficiando hasta 5-8 habitantes por aljibe y ocasionalmente para el abastecimiento público (escuelas, veredales y hogares de bienestar familiar), además algunos aljibes son aprovechados para el riego y la ganadería.

La extracción del agua se hace manual por medio de baldeo, con un promedio hasta 100-150 l/día. En pocos aljibes se han instalado molinos de viento y motobombas que incrementan el volumen del agua extraído hasta 3000 l/día. (Ibíd. pág. 32)

5.3.5 Sistema acuífero Glacis del Quindío

Los datos concernientes al sistema acuífero Glacis del Quindío se obtuvieron a través del estudio realizado por CARDER en 1998 titulado Estudio de Oferta y Demanda Hídrica en la Subregión 1 del Departamento de Risaralda – Pereira - Colombia y el plan de manejo integrado de aguas subterráneas elaborado en Pereira y Dosquebradas 2007. También se extrajo información del estudio de Otálvaro, Arias, & Vélez, llamado Uso de Métodos Geofísicos e Isotópicos en la Construcción de un Modelo Hidrogeológico

Conceptual para los Acuíferos de Pereira y Dosquebradas. Y finalmente del trabajo de grado de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, titulado Evaluación de las Condiciones de Oferta, Uso y Susceptibilidad a la Contaminación de las Aguas Subterráneas en la Región Andina de Colombia -2010.

➤ Localización geográfica

Este sistema acuífero comprende los municipios de La Tebaida, Calarcá, Salento, Quimbaya, La Virginia, Dos Quebradas, Caicedonia, Armenia, Finlandia, Circasia, Alcalá, Montenegro y Pereira como se observa en la figura 24. (Camargo & Atehortua 2010)

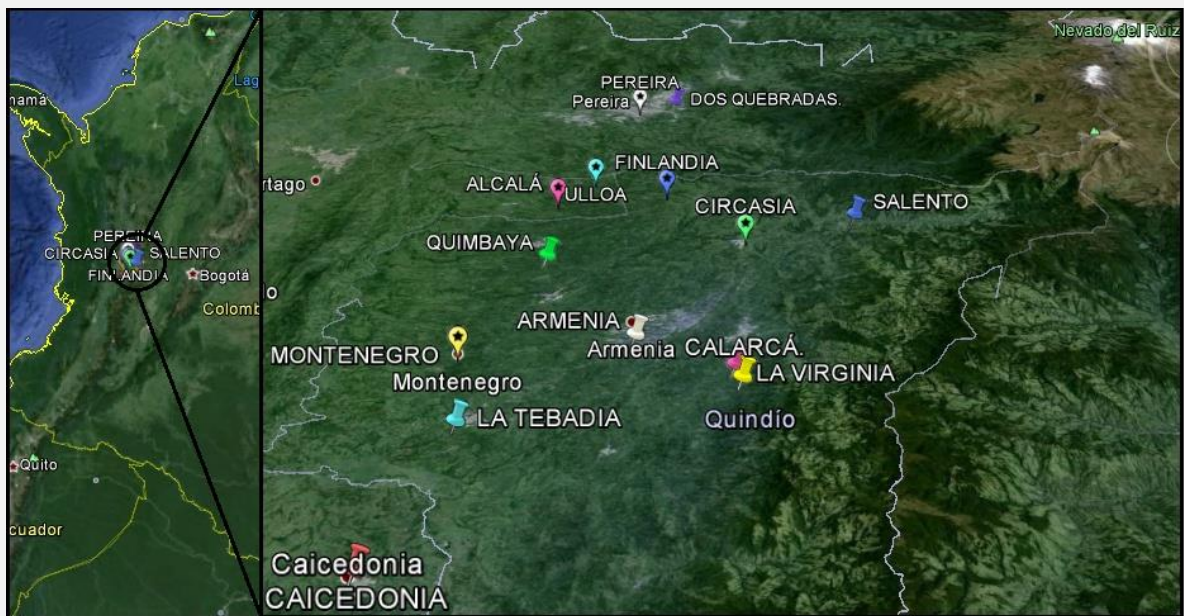


Figura 24. Ubicación del sistema acuífero Glacis del Quindío.
Fuente: Google © earth 2013

➤ Generalidades hidro - climáticas

Debido a lo quebrado del terreno, se presentan los pisos térmicos cálido, medio, frío y páramo, con temperatura promedio anual que varía desde 22°C en el valle del río Risaralda a 12°C en los nevados. La precipitación es bimodal, con máximos de hasta 2800 mm en abril-mayo y octubre-noviembre y mínimos de 1700 mm en enero febrero y julio-agosto (CARDER, 1998).

El sistema hidrográfico lo comprenden los ríos Cauca, Barbas, La Vieja, Otún y Consota y las quebradas Cestillal y El Piñal. (Otálvaro, Arias, & Vélez, 2009)

➤ Ambiente geológico

Está constituido por alternancias de flujos pirocálsticos y laharicos y en menor proporción materiales fluviotorrenciales, aluviales y glaciares, en su mayoría cubiertos por tobas volcánicas (cenizas, lapilli y polvo volcánico) que recubren una paleotopografía, generando colinas suaves y redondeadas. (CARDER, 2007)

El sector de Risaralda, presenta unidades aflorantes que comprenden rocas desde el paleozoico inferior reciente presentado por el complejo poli metamórfico de la cordillera central (Pes), con unidades cretáceas en las formaciones Quebradagrande (Kvc), Barroso (Kvb), el stock Gabróico de Pereira (Kgp), Formación Cartago (Toc), Zarzal (Tpz) y la Pereira (Tqp), Formación Armenia (TQa), son lutitas, areniscas y conglomerados, con porosidad primaria Baja a regular, son acuífero pobre (buenos en Formación Armenia en el Glacis del Quindío) libre a confinado los sedimentos cuaternarios están

representados por flujos de lodo volcánico (Qfl) depósitos piroclásticos (Qpr) y aluviones recientes (Qar). (Otálvaro, Arias, & Vélez, 2009)

➤ Unidades de importancia hidrogeológica

Las unidades del área de estudio fueron clasificadas en dos grupos denominadas sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular y cada unidad se describe en la figura 25.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
A 1	Los acuíferos con alta productividad corresponden a las formaciones Zarzal y Aluviales del río Cauca y del río La Vieja. Esos acuíferos se caracterizan por ser discontinuos y de extensión local.
A 2	El acuífero con moderada productividad corresponde a los depósitos de fluviolacustres de Dosquebradas (Qdq).
A 3	Los acuíferos con baja productividad están representados por la formación Pereira (Tqp), del Plio-Pleistoceno, integrada por dos secuencias principales: la superior de cenizas volcánicas y la inferior de flujos volcanoclásticos. El espesor de esta unidad, está controlado por las Formaciones Cartago (Toc) y Barroso (Kvb).

Figura 25. Unidades hidrogeológicas del sistema acuífero Glacis del Quindío.
Adaptado de Otálvaro, Arias, & Vélez. 2009 (págs. 89-96).

➤ Resultados Isotópicos

El estudio geofísico realizado para el Proyecto, muestra un espesor menos importante de los materiales aluvionales. Este estudio incluye 24 sondeos eléctricos verticales entre el norte de Vitervo y la Virginia. Su interpretación indica la presencia más o menos de 4 capas distintas a lo largo del valle. Estas capas se presentan en la figura 26.

CAPA	DESCRIPCIÓN
1	Tiene entre 2-6 m de espesor con una litología de Arcillas predominando con arenas y gravas en matriz limo - Arcillosa. Su hidrogeología es un acuicludo.
2	Tiene entre 25-60 m de espesor con una litología de Gravas y arenas en matriz limo - arenosa. Su hidrogeología es un acuífero.
3	Tiene entre 30-70 m de espesor con una litología de Arcillolitas predominando sobre areniscas. Su hidrogeología es un acuicludo.
4	Presenta una litología de Conglomerados y areniscas. Su hidrogeología es un acuífero

Figura 26.Descripción de las capas en el sistema acuífero Glacis del Quindío.
Caracterización Hidrogeologica Valle del Rio Risaralda, 1995. (pág. 86). Corporación Autónoma Regional de Risaralda

➤ Puntos de agua y usos

Las informaciones que vienen de los dos pozos inventariados (POZO CA-VI-41, hacienda el Danuvio Viterbo, POZO RI-VR-66), Finca El Paraíso, (La virginia). Indican que la profundidad de los acuíferos de gravas y arenas, en los sitios de ubicación de estos pozos alcanza un mínimo de 50 a 62 m. (Ramirez, 1995)

Este sistema acuífero tiene en su extensión 424 aljibes y 153 pozos. (Otálvaro, Arias, & Vélez, 2009)

El uso de este acuífero esta demandado por los sectores Industrial con un 63% doméstico con un 30% y ganadería con un 6%, esto para el caso de los pozos, pero los aljibes el consumo doméstico con un 59%, agropecuario 36%, industrial 1% y otros 2%.

En este sistema acuífero se encuentran 2029 viviendas que se abastecen de agua subterránea, presentadas en la tabla 14, los lugares con mayores puntos de captación son Pereira con 67% y en menor proporción Salento con 0.29%. (Ibíd.)

➤ Dinámica de flujo y recarga

Con la aplicación de técnicas isotópicas se pudo establecer que la recarga ocurre en la zona de afloramiento del acuífero; anteriormente se suponía que se daba una recarga substancial desde las zonas montañosas en contacto con la formación Pereira, entre 2500 y 3500msnm. (Ibíd.)

El agua filtrada proviene en gran parte de los flancos de las cordilleras occidental y central y forma un reservorio muy importante de aguas subterráneas compuesto por sedimentos aluviales del valle del río Cauca y Risaralda. (Otálvaro, Arias, & Vélez, 2009)

➤ Calidad

El agua de este acuífero es de tipo bicarbonatada-sódica-magnésica-cálcica con una conductividad muy débil.

En los ocho puntos de monitoreo de aguas superficiales estudiados conjuntamente por el IDEAM y la CRQ, si bien las corrientes de aguas superficiales presentan algunos indicios de contaminación, en general las variables físico-químicas no presentan valores que indiquen contaminación o alteración excepcionales que difieran en gran medida del comportamiento que se ha observado durante los últimos cuatro años en las mismas estaciones. (IDEAM, 1999)

Los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas subterráneas muestran que en su mayoría los pozos tienen pH neutro, valores muy bajos de materia orgánica, turbidez, color, amonio, nitrito (estos dos no detectados en ningún pozo), nitrato (su presencia

evidencia condiciones oxidantes en el medio) y fósforo total, con lo cual no se evidencian graves problemas de contaminación de este recurso. Los valores de alcalinidad, dureza, sólidos totales presentan valores similares a la información de anteriores estudios y no indican comportamientos fuera de lo normal. (Ibíd.)

➤ Problemática

Es claro que las dos actividades principales del uso del suelo son la cañicola, que ocupa la parte central del valle, y la actividad de ganadería extensiva (ganado vacuno y caballar). Los usos secundarios que ocupan la parte del piedemonte a cada lado del valle plano son los cultivos de cítricos y los cultivos de café con sombrero, que corresponden a usos densos del suelo. Las zonas industriales como la del Ingenio Risaralda, representan la transformación de un producto obtenido de la destinación de grandes áreas del suelo a un mismo cultivo, como es el caso de la caña de azúcar. (Otálvaro, Arias, & Vélez, 2009). Todo esto hace referencia a un posible riesgo de contaminación de las aguas subterráneas de la región.

Los rellenos sanitarios de Armenia y La Tebaida reflejan la situación ambiental de la mayoría de los sitios de disposición de residuos a cielo abierto en el país, los cuales están ubicados dentro de cursos de agua superficiales, las cuales se ven afectadas en su calidad y cantidad por la mezcla de lixiviados y potencialmente por la infiltración a las aguas subsuperficiales y subterráneas. (Ibíd.)

5.3. Evaluación de la capacidad regional de las Corporaciones Autónomas Regionales de la Región Andina de Occidente frente a las aguas subterráneas

La evaluación de la *capacidad regional* de las entidades ambientales se realizó a través de la colaboración de funcionarios y contratistas de la subdirección de estudios hidrogeológicos del IDEAM, quienes se desplazaron y recolectaron directamente la información concerniente a la gestión del recurso hídrico subterráneo en cada una de las autoridades ambientales.

Siguiendo la metodología de Buitrago & Rojas (2008) se diligenciaron las matrices orientadas a la evaluación de la *capacidad regional* para las siguientes autoridades ambientales: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) y Área Metropolitana del Valle de Aburrá Unidad Ambiental (AMVA).

Con la información recolectada a través de las encuestas se tabuló y calificó la gestión de autoridades ambientales, como se evidencia en la figura 27, donde se marcó con (X) cuando la entidad ambiental demostró cumplimiento del elemento que se está evaluando y se marcó con (—) cuando la entidad ambiental no demostró ningún soporte en cuanto a la ejecución de los elementos del nivel.

De acuerdo a la información anterior, los criterios en los cuales se demostró cumplimiento del elemento que se está evaluando con (X) y al ser sumados se otorgó una calificación de EXCELENTE (E) si la entidad conoce y demuestra cumplir entre 10 y 9 criterios, BUENO (B) entre 8 y 6 criterios, REGULAR (R) entre 5 y 3 criterios o INSUFICIENTE (I) con 2 o menos criterios. (Buitrago & Rojas, 2008, pág. 74)

Adicionalmente y como fue mencionado con anterioridad, cada criterio se evaluó con más detalle para cada una de las autoridades ambientales (CVC, CARDER, CORPOCALDAS y AMVA) reflejando las fortalezas y debilidades, para eventualmente buscar la mejora de las mismas, procurando un mejor desempeño en cuanto al manejo del recurso hídrico subterráneo.

Esta evaluación de la *capacidad regional* se utilizó como una herramienta para identificar qué entidades ambientales están comprometidas con la gestión del recurso hídrico subterráneo en la Región Andina de Occidente y cuales deben mejorar sus recursos técnicos, humanos y otros, para optimizar el conocimiento y la adecuada gestión hidrogeológica de los sistemas acuíferos.

NIVEL	SIGLAS DE LAS AUTORIDADES AMBIENTALES			
	CVC	CORPOCALDAS	CARDER	AMVA
1 Talento Humano				
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva	X			
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva con limitantes			X	X
Personal responsable		—		
2 Equipo de Instrumentos				
Equipo de perforación +Equipominimo+Otros				
Equipo mínimo	X	X	X	
Parte de Equipo mínimo				—
3 Monitoreo				
Programa de monitoreo (calidad y cantidad)+Métodos Monitoreo +Pozos de monitoreo nivelados	X	X	X	X
Programas de monitoreo (algunas variables)+Métodos Monitoreo+Pozosde monitoreo nivelados				
Monitoreo o toma de datos aperiódicos				
4 Laboratorios				
Acreditados	X	X		
En procesos de acreditación			X	
Sin acreditación				—
5 Procedimientos				
Manual para todos los procesos		X		
Monitoreo de niveles+ Monitoreo en calidad (Muestreos y procedimientos analíticos)	X		X	X
Monitoreo de niveles+ Monitoreo en calidad (Muestreos)				

Figura 27. Matriz de la capacidad regional de las autoridades ambientales.
Fuente. Buitrago & Rojas 2008, (págs. 77 y 75)

Continuación de la figura 27. Matriz de la capacidad regional en áreas de jurisdicción de las CAR'S.

NIVEL	SIGLAS DE LAS AUTORIDADES AMBIENTALES			
	CVC	CORPOCALDAS	CARDER	AMVA
6 Sistemas de Información				
Base datos + Sistemas de información geográfica + Protocolos	X	X	X	
Existe una Base de datos o sistemas de información geográfica				
Información almacenada				—
7 Plan Manejo de Aguas Subterráneas				
Plan en fase de implementación	X		X	
Plan formulado		X		
Plan en formulación				—
8 Relaciones con la Comunidad				
Análisis y estrategia de actores Estrategias de divulgación + Capacitación + Socialización	X	X	—	
Estrategias de divulgación o de capacitación o de socialización				—
9 Capacitación				
Programas de capacitación en aguas subterráneas (Con presupuesto) + Participación en eventos			X	
Participación activa en eventos		X		X
Participación ocasional en eventos	—			
10 Investigación				
Investigación programada con universidades y otros centros de investigación	X		X	X
Investigación ocasional con universidades y otros centros No hay investigación		—		
Calificación Final de la Entidad	BUENA	BUENA	BUENA	REGULAR

Figura 28. Matriz de la capacidad regional en áreas de las autoridades ambientales.

Adaptado de Buitrago & Rojas 2008, (págs. 77 y 75)

A partir de la información recolectada se identificó que las Corporaciones Autónomas Regionales del Valle del Cauca (CVC), Caldas (CORPOCALDAS) y Risaralda (CARDER) tienen un buen desempeño frente al manejo del recurso hídrico subterráneo, debido a que cuentan con las herramientas técnicas y humanas para realizar una adecuada gestión frente a todos los criterios que la involucran.

Por otra parte, la AMVA entidad que se responsabiliza del Área Metropolitana del Valle de Aburra es la entidad ambiental más débil debido a la falta de personal, instrumentos, laboratorios y programas que involucren la adecuada gestión de las aguas subterráneas.

Se hace constante para todas las CAR debilidades orientadas a la carencia de instrumentos o equipos de monitoreo para la exploración y medición de las características físicas y químicas de las aguas subterráneas.

Los PMAA que estén formulados (CORPOCALDAS) o en formulación (AMVA) deben ser implementados en el menor tiempo posible, debido a que son la principal herramienta para la protección de las zonas de recarga y el reconocimiento hidrogeológico de los sistemas acuíferos.

Es importante resaltar que la mayoría de corporaciones tiene convenios de investigación con las universidades (exceptuando a CORPOCALDAS), por lo que se hace evidente la búsqueda de un beneficio mutuo entre las dos partes para conocer y preservar las características hidrogeológicas de los sistemas acuíferos de la región.

Por otra parte, la recolección de información de cada entidad ambiental sobre la gestión del recurso hídrico subterráneo, además de servir como criterio de una calificación general de la entidad ambiental, se utilizó para calificar cada uno de los aspectos que vinculan la *capacidad regional*, y que se resumen en la figura 29.

Criterios de Gestión	Calificación de las Autoridades Ambientales			
	Excelente	Buena	Regular	Insuficiente
Talento Humano	Equipo de trabajo con dedicación exclusiva: Un profesional en las ciencias duras (hidrogeólogo) y en las ciencias blandas (sociólogo). Técnicos	Grupo con dedicación exclusiva con limitantes en algunos profesionales	Responsables del tema pero no hay equipo de trabajo con dedicación exclusiva	No se encuentran responsables acerca del tema
Equipos e Instrumentos	Cuenta con todos los Equipos: Equipo de perforación, Equipo mínimo de monitoreo y/o Otros	Equipo de monitoreo: Sondas para medición de niveles, Bailers, Insumos para muestreo y Equipo Hidroquímica	Parte de Equipo de Monitoreo	No cuenta con ningún equipo
Monitoreo	Cuentan con un programa de monitoreo para calidad y cantidad, métodos de monitoreo y pozos de monitoreo nivelados no y convencionales	Tienen programas de monitoreo, cuenta con variables en relación a la calidad y cantidad además de métodos y pozos de monitoreo	Cuenta con monitoreo o toma de datos periódicos en pozos no nivelados	No se encuentran responsables
Laboratorios	Deberán estar acreditados	En procesos de acreditación	No están acreditados	No hay laboratorios
Procedimiento	Las entidades cuentan con manuales para todos los procesos	Existen procedimientos para los muestreos y procedimientos analíticos del laboratorio	Monitoreo de niveles y calidad, solo se procedimientos para muestreos	No hay manuales
Sistemas de Información	Se cuenta con: Bases de datos, Sistemas de Información geográfica, Protocolos y Software	Existe una Base de datos o sistemas de información geográfica	Existe información en hojas sistemáticas	No hay manejo de información
Plan Manejo de Aguas Subterráneas	La entidad tiene un plan de manejo en fase de implementación	La entidad se encuentra con un plan formulado	La entidad tiene un plan en formulación	No hay planes de manejo
Relaciones con la comunidad	Existe análisis, estrategia, capacitación, divulgación y socialización con los actores involucrados y la comunidad	Solo estrategias de divulgación, capacitación o socialización		No hay estrategias con los actores
Capacitación	Programas de capacitación sujetos a un presupuesto y cuentan con participación activa en eventos	La entidad cuenta con una participación activa en eventos de aguas subterráneas	Tienen participación ocasional en los eventos	No hay participación en ningún evento
Investigación	Tienen y ejecutan convenios de programas de investigación de centros y universidades que están realizando estudios del tema.	Cuentan con convenios planeados con centros y universidades realicen estudios acerca del tema		No hay convenios de investigación

Figura 29. Matriz de la calificación de criterios de gestión para las autoridades ambientales.
Fuente. Adaptado de Buitrago & Rojas. (2008). (págs. 77-79).

5.3.1 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)

La evaluación de la *capacidad regional* para cada uno de los criterios que involucran la gestión de las aguas subterráneas correspondiente a la CVC se relaciona en la figura 30. La calificación para cada uno de los criterios se otorgó con relación a la información recolectada por parte del IDEAM y que se puede observar en el Anexo 1.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca	
Criterios de Gestión	Calificación
Talento Humano	Excelente
Equipos e Instrumentos	Regular
Monitoreo	Excelente
Laboratorios	Excelente
Procedimiento	Buena
Sistemas de Información	Excelente
Plan Manejo de Aguas Subterráneas	Excelente
Relaciones con la comunidad	Excelente
Capacitación	Regular
Investigación	Excelente

Figura 30. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en la CVC.

Fuente: Los autores de acuerdo a figura 29.

Dentro de las razones por las cuales se puede identificar a la CVC como una de las Corporaciones Autónomas Regionales que mejor se desempeña con las labores relativas al adecuado manejo de las aguas subterráneas, tiene que ver con el talento humano, ésta entidad cuenta con tres profesionales, tres técnicos y un contratista; personal necesario para una buena gestión del recurso. También ha diseñado programas de monitoreo y los laboratorios están acreditados para el análisis de calidad del agua. Poseen bases de datos y sistemas de información geográfica sobre los pozos y acuíferos de la zona.

En cuanto al desenvolvimiento con la comunidad, la corporación cuenta con estrategias de divulgación, capacitación y socialización de los programas, aunque cabe resaltar que la participación en eventos de capacitación es ocasional.

El PMAA está en fase de implementación, por lo que se refleja el compromiso de la entidad encaminado a la protección del recurso y aumentar los niveles de conocimiento de las aguas subterráneas.

Uno de los aspectos a mejorar es la cantidad y calidad de equipos, puesto que son limitados (multiparámetro y sonda), además se recomienda optimizar las estrategias de participación, para que la incursión respecto a eventos que capaciten a la comunidad en los aspectos referentes a las aguas subterráneas sea más activa.

5.3.2 Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS)

La evaluación de la *capacidad regional* para cada uno de los criterios que involucran la gestión de las aguas subterráneas para la entidad ambiental CORPOCALDAS se relaciona en la figura 31. La calificación para cada uno de los criterios se otorgó con respecto a la información recolectada por parte del IDEAM y que se puede observar en el Anexo 2.

Corporación Autónoma Regional de Caldas	
Criterios de Gestión	Calificación
Talento Humano	Regular
Equipos e Instrumentos	Regular
Monitoreo	Excelente
Laboratorios	Excelente
Procedimiento	Excelente
Sistemas de Información	Excelente
Plan Manejo de Aguas Subterráneas	Buena
Relaciones con la comunidad	Excelente
Capacitación	Buena
Investigación	Insuficiente

Figura 31. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en CORPOCALDAS.
Fuente: Los autores de acuerdo a figura 29.

En la evaluación de la capacidad regional de CORPOCALDAS, esta obtuvo una calificación favorable respecto a la gestión de los sistemas acuíferos en su jurisdicción. Pese a que esta no tiene laboratorios acreditados, resalta que hace uso de los laboratorios de la Universidad Nacional y siguen los protocolos del IDEAM para el muestreo y monitoreo del recurso hídrico subterráneo. Asimismo destaca que utilizan sistemas de información geográfica y poseen una base de datos de la información del recurso.

Es importante resaltar las buenas relaciones que la CAR establece con la comunidad, puesto que plantean diferentes estrategias de divulgación, capacitación y socialización, todo ello con el fin de educar a la comunidad y los actores involucrados acerca de la importancia de proteger el recurso hídrico. Disfrutan de buenos elementos técnicos y humanos para la gestión de las aguas subterráneas.

Aunque CORPOCALDAS tiene plan de manejo de aguas, éste aun no entra en la fase de implementación, se hace un llamado de atención en este aspecto, pues es de suma importancia poner en marcha estos procedimientos que buscan proteger la calidad de las aguas subterráneas y aprovechar las potencialidades de este recurso.

Un aspecto desfavorable se refiere a la falta de convenios de investigación; únicamente realizan estudios en la zona a través de contratistas y sólo cuando es necesario, el personal técnico es deficiente, solamente hay una persona encargada del recurso hídrico y cuentan con parte del equipo mínimo para análisis de las aguas subterráneas (sonda, multiparámetro y GPS).

5.3.3 Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER)

La evaluación de la *capacidad regional* para cada uno de los criterios que involucran la gestión de las aguas subterráneas para la entidad ambiental CARDER se relaciona en la figura 32. La calificación para cada uno de los criterios se otorgó con respecto a la información recolectada por parte del IDEAM y que se puede observar en el Anexo 3.

Corporación Autónoma Regional de Risaralda	
Criterios de Gestión	Calificación
Talento Humano	Buena
Equipos e Instrumentos	Buena
Monitoreo	Excelente
Laboratorios	Buena
Procedimiento	Buena
Sistemas de Información	Excelente
Plan Manejo de Aguas Subterráneas	Excelente
Relaciones con la comunidad	Buena
Capacitación	Excelente
Investigación	Excelente

Figura 32. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en CARDER.
Fuente: Los autores de acuerdo a figura 29.

La Corporación Autónoma Regional de Risaralda tiene una buena capacidad regional según los resultados obtenidos en las matrices diligenciadas, la entidad cuenta con sus respectivos procedimientos y programas de monitoreo para las aguas subterráneas, adicionalmente hace uso de sistemas de información geográfica y posee bases de datos con información de los sistemas acuíferos.

En lo que concierne a la investigación, la entidad enfatiza que ésta lleva a cabo convenios con universidades y centros de investigación para la exploración del recurso, aclara que sus laboratorios están acreditados y hay unos en proceso de acreditación.

En cuanto al plan de manejo de aguas subterráneas, CARDER asegura que se encuentra en proceso de implementación, situación que refleja la buena disposición para ejecutar proyectos en búsqueda de la preservación del agua subterránea y su adecuado aprovechamiento.

Las relaciones con la comunidad son buenas, han desarrollado varias estrategias de divulgación, además dictan programas de capacitación sobre las aguas subterráneas con su respectivo presupuesto.

Dentro del personal hay un geólogo, un ingeniero y un técnico, cuentan con un equipo mínimo de monitoreo (cuatro sondas, un multiparámetro, tres GPS, dos Bailers y una bomba).

5.3.4 Área Metropolitana del Valle de Aburra Unidad Ambiental (AMVA)

La evaluación de la *capacidad regional* para cada uno de los criterios que involucran la gestión de las aguas subterráneas para la entidad ambiental AMVA se relaciona en la figura 33. La calificación para cada uno de los criterios se otorgó con respecto a la información recolectada por parte del IDEAM y que se puede observar en el Anexo 4.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá Unidad Ambiental	
Criterios de Gestión	Calificación
Talento Humano	Buena
Equipos e Instrumentos	Insuficiente
Monitoreo	Excelente
Laboratorios	Insuficiente
Procedimiento	Regular
Sistemas de Información	Insuficiente
Plan Manejo de Aguas Subterráneas	Regular
Relaciones con la comunidad	Buena
Capacitación	Buena
Investigación	Excelente

Figura 33. Matriz de la calificación de criterios de gestión de la capacidad en AMVA.
Fuente: Los autores de acuerdo a figura 29.

Esta corporación obtuvo una baja calificación enfocada a la gestión que desempeña, demostrando que su capacidad regional es regular.

A pesar de que su laboratorio no está acreditado, la AMVA cuenta con programas de monitoreo y calidad de las aguas subterráneas en la zona, permitiendo de este modo determinar las condiciones físico químicas del recurso, se siguen todos los procedimientos de muestreo y análisis, pero no se puede certificar la calidad de sus estudios. Se resalta que establece convenios de investigación con la Universidad de Antioquia.

Existen estrategias de divulgación y capacitación pero hasta el momento no se han puesto en marcha, haciéndose necesario empezar inmediatamente para socializar y capacitar a la comunidad sobre los programas de gestión integral del recurso hídrico.

El plan de manejo de aguas subterráneas se encuentra en fase de formulación, es de vital importancia finalizar su formulación e implementarlo, propendiendo por la preservación del recurso y definiendo las potencialidades de uso del agua contenida en los sistemas acuíferos de la zona.

5.4. Análisis de la capacidad regional de las Autoridades Ambientales frente a la información secundaria

En el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 se resalta que Colombia carece de una regulación capaz de incentivar el uso eficiente y protección del recurso hídrico, situación dada principalmente por el fraccionamiento de gestión de las autoridades ambientales, entidades territoriales, sectores productivos y sociedad en general. Este trabajo promueve la unidad de las entidades responsables de la gestión del recurso hídrico subterráneo, consolidando aspectos generales (que están incluidos dentro de un MHC) de ocho sistemas acuíferos ubicados en la zona occidental de la Región Andina y evaluando la *capacidad regional* de las autoridades ambientales responsables en la zona.

La capacidad regional se ve comprometida principalmente por la fase en la cual se encuentre el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos de la CAR responsable. La guía metodológica para la formulación de PMAA establece cuatro niveles que corresponden a un diagnóstico, una formulación, una ejecución y una evaluación.

- El diagnóstico debe estar basado primordialmente en la información brindada por el Modelo Hidrogeológico Conceptual del sistema acuífero.
- La formulación del plan está dada por priorizaciones de programas y proyectos, al igual que de una planeación que involucre diferentes aspectos; dentro de ellos la zonificación de vulnerabilidades, protección de zonas de recarga, definición de perímetros de protección, actualización del Sistema de Información del Recurso Hídrico, fortalecimiento institucional, entre otros,

- La ejecución del PMAA se ve limitada por los recursos económicos de las CAR's y los planes a corto, mediano y largo plazo de las mismas.
- Finalmente se deben hacer unas medidas de seguimiento y evaluación observando los resultados, estableciendo frecuencias de monitoreo y fortaleciendo el modelo hidrogeológico conceptual.

Por lo anterior, es de suma importancia construir y adaptar secuencialmente los MHC's de cada sistema acuífero, velando por una buena gestión que repercutirá en la preservación de las cualidades del agua subterránea y el reconocimiento de sus potencialidades para un posterior aprovechamiento.

Dentro de las cuatro autoridades ambientales evaluadas, las únicas que están implementando el PMAA son CVC y CARDER, CORPOCALDAS por su parte ya lo tiene formulado, y la AMVA hasta ahora está en fase de formulación.

La CVC se destaca por tener una buena *capacidad regional* y por ser una de las corporaciones que más ha avanzado en cuanto a la consolidación de su MHC. Este documento muestra información con respecto a generalidades hidroclimáticas, constitución del ambiente geológico, características hidráulicas de las unidades hidrogeológicas, dinámica de circulación de sus aguas y antigüedad de las mismas realizadas a través de estudios de isotopía. La CVC destaca que las aguas de éste sistema acuífero están calificadas de buenas a muy buenas, aunque se encuentran en un alto grado de riesgo dados los vertimientos industriales, urbanizaciones sin sistemas de saneamiento y a la infiltración de los lixiviados generados por botaderos mal constituidos.

CARDER también tiene una buena capacidad regional, los estudios que han sido adelantados en el sistema acuífero de Glacis del Quindío, y compilados en este documento tienen que ver con las generalidades hidroclimáticas, la composición del ambiente geológico, las particularidades de las unidades hidrogeológicas sin describir sus características hidráulicas, la descripción de capas del suelo realizadas a través de sondeos eléctricos verticales y estudios isotópicos, datos de puntos de agua y demanda por sectores, igualmente se da una descripción de la ubicación de las zonas de recarga. La calidad del agua presenta que hay indicios de contaminación, pero ésta no es excepcional, por lo cual se hace un llamado de atención, ya que hay un alto grado de riesgo debido al aumento de monocultivos y ganadería extensiva, además de la existencia de rellenos sanitarios en cursos de agua superficiales, en donde ésta se puede mezclar con los lixiviados generados y eventualmente infiltrarse hasta llegar las aguas subterráneas.

Dentro de las corporaciones que obtuvieron un puntaje favorable en cuanto a la *capacidad regional* se encuentra CORPOCALDAS, entidad a cargo del sistema acuífero de Santagueda. De este sistema acuífero se recopiló información correspondiente a las generalidades del ambiente geológico y las características de la composición de las unidades hidrogeológicas. A pesar de que no hay un inventario de pozos se indica que la calidad del agua es buena y se le puede dar uso industrial, doméstico y agrícola, aunque cabe resaltar que en algunos puntos el hierro sobrepasa los niveles admisibles, por lo que no es potable y se debe tratar previamente si se quiere utilizar como tal. Se identifica la localización de las zonas de recarga e igualmente se exhibe la problemática actual que está

relacionada con la erosión de los suelos, debido al actual crecimiento de la actividad minera.

Al contrario de las entidades ambientales anteriormente mencionadas, la AMVA tuvo una calificación regular de la gestión que ejerce en el sistema Acuífero del Valle de Aburra. Los datos recolectados presentan las generalidades hidroclimáticas, las características hidráulicas de las unidades hidrogeológicas, y un breve inventario de las captaciones de agua existentes, además se presentan datos de dinámica de flujo y recarga. En cuanto a la calidad del recurso, se indica que ésta se ve comprometida por actividades antrópicas y por la recarga artificial desde las fugas del alcantarillado. A pesar de que fueron realizados estudios para establecer las zonas de recarga por técnicas isotópicas, se aclara la invalidez de los mismos porque el fenómeno de la niña incidió enormemente en los resultados, por lo cual se recalca la necesidad de llevar un registro cíclico de éste tipo de análisis para una mayor veracidad de los datos a evaluar.

Como es evidente, las entidades ambientales que han puesto en marcha el PMAA son las que mejor información tienen respecto a sus correspondientes sistemas acuíferos, comparadas con las autoridades ambientales que hasta ahora han formulado o están formulando dicho plan.

Debido a que no se obtuvo respuesta por parte de la CRC, CORANTIOQUIA y CORPONARIÑO en relación a las encuestas enfocadas a evaluar la *capacidad regional*, no se puede establecer alguna relación con la cantidad y calidad de la información

hidrogeológica versus la gestión que desempeñan en los sistemas acuíferos que les competen.

Es importante resaltar que la región Andina de Occidente cuenta con un buen potencial para el almacenamiento de agua subterránea y sobre todo en la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía y los sistemas acuíferos que la componen; como menciona el IDEAM (2010) en el Cauca-Patía esta el 51% del consumo total nacional de aguas subterráneas por los diferentes sectores (para uso agrícola principalmente) y con una demanda anual de 420 millones de m³.

Por otra parte, la región de estudio cuenta con un ambiente ígneo-metamórfico, dónde el agua subterránea de los sistemas acuíferos que lo componen es limitada para su explotación, depende del grado de fracturamiento de las rocas o de la existencia de algún tipo de secuencia de depósitos sedimentarios, por ende el nivel de los estudios y la información hidrogeológica hallada acerca de estos sistemas acuíferos es poca y limitada.

Las condiciones hidrogeológicas de la región Andina de Occidente mencionadas anteriormente se pueden observar en la figura 34, donde se puede detallar la productividad de los sistemas acuíferos en el área de estudio.

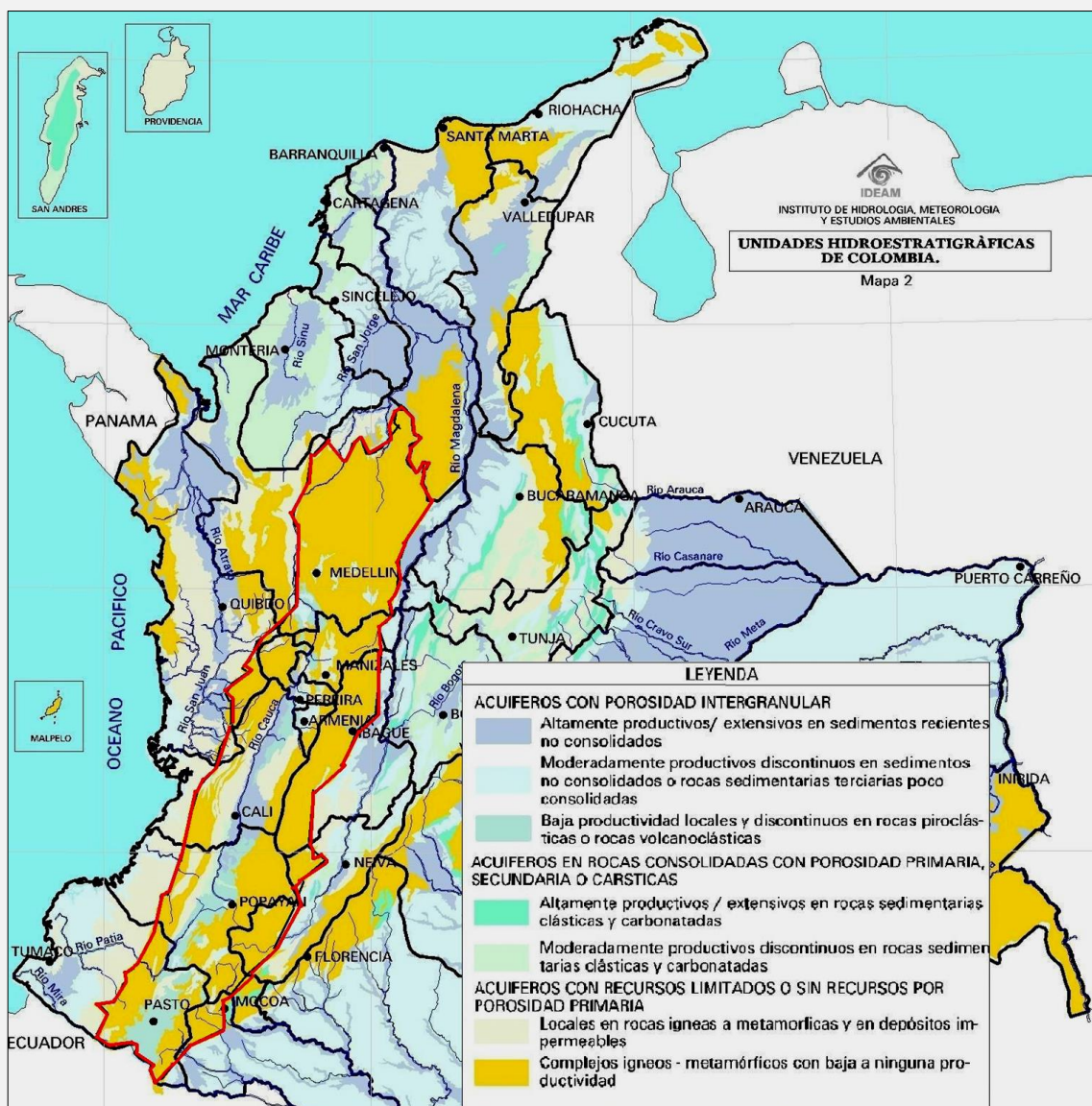


Figura 34. Unidades Hidroestratigráficas de Colombia.

Fuente. Adaptado de Vargas, Nelson. (2005). Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia (pág. 6). IDEAM.

CONCLUSIONES

Este proyecto responde a la necesidad de caracterizar y consolidar la información hidrogeológica secundaria disponible de la región Andina de Occidente, igualmente es útil para identificar las propiedades y características hidrogeológicas de cada uno de los sistemas acuíferos dentro de la región, siendo una herramienta para la búsqueda, el análisis y la toma de decisiones respecto a la gestión del agua subterránea por parte de las autoridades ambientales y el público en general. Además, es una evaluación actual de la gestión de las aguas subterráneas por parte de las autoridades ambientales (CVC, CORPOCALDAS, CARDER y AMVA) respecto a talento humano, equipo e instrumentos, control y monitoreo, relaciones con la comunidad, laboratorios, procedimientos, sistemas de información, capacitación e investigación.

Luego de realizar el análisis de los resultados de cada uno de los objetivos específicos, se puso en evidencia si las entidades encargadas del manejo integral del recurso hídrico cumplen o no con la gestión del agua subterránea, situación que se ve reflejada con la cantidad y calidad de la información recolectada.

Por ende, a continuación se mostrarán las correspondientes conclusiones según las variables establecidas con anterioridad.

➤ La evaluación de la *capacidad regional* de las autoridades ambientales se usó como herramienta para identificar la capacidad de respuesta de las mismas, en torno al manejo que se le da al recurso hídrico subterráneo. La evaluación para la CVC, CARDER y CORPOCALDAS fue Buena, las principales falencias están relacionadas con la baja participación de la comunidad, deficiencias en los equipos de monitoreo y personal responsable. Adicionalmente la evaluación para la AMVA señala que ésta tiene una gestión regular, debido a que carece de equipos, laboratorios y sistemas de información, por lo que es necesario suplir estos requerimientos para mejorar la gestión del agua subterránea.

➤ La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) interviene en parte de la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía, se evidencia que esta cuenta con una buena *capacidad regional* e información hidrogeológica de sus sistemas acuíferos. La capacidad de almacenar y transmitir agua de esta provincia hidrogeológica se debe a sus características sedimentarias, otorgando la posibilidad de ser aprovechada para consumo doméstico, uso industrial y agrícola, como se hace actualmente en esta parte de la región.

➤ Respecto a la autoridad ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), a la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) y las demás CAR's competentes, que intervienen en el complejo ígneo-metamórfico, se encontró que la calidad de la información es baja y escasa, consecuencia dada por las debilidades en cuanto a personal y equipos de monitoreo, sin dejar de reconocer las

características poco permeables y de bajo potencial de explotación hídrico que se produce en este ambiente. CARDER por su parte ha tiene una buena capacidad regional y los estudios realizados en los sistemas acuíferos bajo su jurisdicción son recientes y de calidad.

➤ Las Corporaciones Autónomas Regionales de la región Andina de Occidente, cuentan con estudios que dan una visión general del potencial hídrico de cada uno de sus sistemas acuíferos. Cabe resaltar que alguna de la información disponible encontrada no está actualizada, entorno que se debe a la falta de talento humano y recursos orientados a la investigación de las aguas subterráneas. Sin omitir que la CVC y CORPOCALDAS han avanzado significativamente en cuanto a la exploración, acreditación de laboratorios, aprovechamiento del recurso e implementación de los planes de manejo de aguas subterráneas, comparando los resultados actuales con los encontrados en la tesis de ROJAS 2008 que indican una gestión regular de dichas entidades.

➤ Los resultados de la matriz de la capacidad regional muestran que la incapacidad de dar una excelente gestión del recurso hídrico subterráneo, principalmente se debe a la inexistencia de un equipo de trabajo con dedicación exclusiva al tema de las aguas subterráneas, exceptuando la CVC. Sólo unas pocas cuentan con el equipo mínimo para el estudio del recurso, la AMVA no cuenta siquiera con el equipo mínimo de monitoreo. Cabe resaltar que de las cuatro corporaciones únicamente la CVC y CORPOCALDAS tienen laboratorios acreditados, uno de los tres

laboratorios de CARDER está en proceso de acreditación, y la AMVA no lo tiene acreditado, por lo que la información sobre la calidad del agua de los estudios realizados en los acuíferos del Valle de Aburrá realizados en los laboratorios de esta entidad no puede tomarse como confiable.

➤ La vulnerabilidad de los sistemas acuíferos de la región Andina de Occidente es cada vez mayor debido al aumento de la presión sobre el recurso hídrico subterráneo, fugas en los sistemas de alcantarillado, expansión agrícola, urbana, minera y ganadera, infiltración de lixiviados generados por botaderos a cielo abierto, explotación del recurso por encima de los niveles de recarga, falencias en cuanto a personal y equipos de monitoreo, e igualmente al fraccionamiento de gestión por parte de las entidades territoriales, sectores productivos y sociedad en general.

➤ Una de las competencias del IDEAM es coordinar el SIRH³ compilando información a nivel nacional y difundiendo el conocimiento. Por su parte las CAR deben realizar el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico en su área de jurisdicción. Para cumplir con las órdenes dictaminadas en el Art 7 y el Art 9 del decreto 1323 de 2007, el artículo 20 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y el artículo 17 de la ley 99 del 1993, es necesario actualizar las herramientas WEB y facilitar el acceso a

³Sistema de Información Hidrológica.

documentos correspondientes a la información del recurso hídrico, pues actualmente es limitado tal y como se puede evidenciar en el link del SIRH en la página WEB del sistema de información ambiental en Colombia (SIAC).

➤ Dentro de los elementos de diagnóstico de un sistema acuífero se tienen que cumplir con los parámetros de delimitación, extensión, localización y situación ambiental de dicha unidad hidrogeológica según el artículo 11 del decreto 1729 de 2002. Éste documento presenta la delimitación de los sistemas acuíferos del Valle del Cauca, Santafé de Antioquia y Valle de Aburrá, del resto se encuentran nociones de la localización y situación ambiental. Afirmando lo que asevera el ENA 2010, en donde se señala que en el país se han realizado insuficientes estudios de tipo hidrogeológico regional y la mayoría de estudios son de carácter local. Situación indeseable para una adecuada gestión del recurso hídrico subterráneo.

➤ Hay relación en cuanto a una conclusión realizada por Blackman, Morgenstern y Topping (2006) en su trabajo orientado al análisis del diseño de las CAR, allí se mide el desempeño de dichas entidades y se hace un llamado de atención por mejorar el sistema de recolección de datos, el tratamiento de la información, las evaluaciones comparativas de riesgo en las CAR y la coordinación nacional regional.

RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS

A continuación, se darán algunas recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta para que las autoridades ambientales tengan un progreso sobre la gestión de las aguas subterráneas en Colombia.

➤ Dada la subjetividad de los resultados referentes a la evaluación de la *capacidad regional* de las CAR, realizada a través del diligenciamiento y posterior análisis de encuestas utilizadas por el IDEAM y diseñadas por Buitrago & Rojas en 2008, se recomienda que además del uso de matrices para la evaluación del criterio mencionado anteriormente se apliquen estimaciones más objetivas, puesto que hay incertidumbre en los análisis cualitativos realizados en este trabajo. Es evidente la falta de mediciones de desempeño que evalúen cuantitativamente la eficiencia de las Corporaciones Autónomas Regionales en torno a la gestión de las aguas subterráneas, dichas mediciones se pueden realizar a través de funciones de distancia direccionales; Puerto & Ramirez., et al, en el año 2012 evaluaron la EFICIENCIA RELATIVA EN ENTIDADES AMBIENTALES GUBERNAMENTALES (CAR), investigación que se puede tomar como referencia, pero ésta vez enfocada al desempeño de la gestión del recurso hídrico subterráneo. Para ello será necesario tener información confiable y puntual sobre el número de proyectos ejecutados y exitosos, número de damnificados por escasez de agua subterránea, presupuesto, entre otros. (Puerto-Suarez & Ramírez., 2012)

➤ Debido al reporte de manganeso por encima de los límites permitidos en algunos puntos monitoreados del sistema acuífero Cauca-Patía, se sugiere aumentar el número de medidas que preserven la calidad del recurso hídrico, pues actualmente el agua subterránea está siendo usada para el abastecimiento doméstico, la ganadería y el riego de cultivos. El exceso de dicho elemento químico puede repercutir negativamente en la salud pública y en el crecimiento de las plantas.

➤ Se reportan tres unidades hidrogeológicas bien demarcadas en el sistema acuífero del Valle del Cauca, en donde el 85% de sus aguas presentan una buena calidad, el porcentaje restante se califica como regular debido principalmente a vertimientos industriales, urbanizaciones sin sistemas de saneamiento adecuados, lagunas de tratamiento mal construidas y basureros a cielo abierto. Es necesario delimitar espacialmente tanto las áreas de recarga como los puntos de contaminación, para reconocer esta situación y remediarla, de no ser así, la contaminación del recurso hídrico subterráneo continuará, su depuración será difícil y a costos elevados.

➤ A pesar de que no se presentan indicios de contaminación fuera de lo normal en el sistema acuífero de Glacis del Quindío, hay un alto riesgo debido a que en los últimos años se ha venido dando una expansión agrícola y de ganadería extensiva, sin omitir la ubicación de dos rellenos sanitarios ubicados dentro de los cursos de aguas superficiales, por lo que es recomendable implementar medidas que disminuyan el

peligro de contaminación preservando la calidad de las aguas subterráneas de dicha zona.

➤ En el sistema acuífero de Santagueda se identifican tres unidades hidrogeológicas, de las cuales, la que posee mayor capacidad de almacenar y transmitir agua es la secuencia sedimentaria. En general, la calidad del agua es buena, aunque no se caracteriza como potable porque en algunos puntos sobrepasa los límites admisibles de hierro. Es necesario controlar la actividad minera que se desarrolla de forma inadecuada en esta zona, porque repercute negativamente en la calidad del recurso hídrico subterráneo.

➤ La contaminación por actividades antrópicas y la recarga artificial desde las fugas del alcantarillado en los acuíferos del Valle de Aburrá es una situación grave, se aconseja continuar con los estudios realizados en cada una de las unidades hidrogeológicas y establecer como prioridad el problema generado por las fugas del sistema de alcantarillado para dar una rápida solución a esta contrariedad.

➤ Las tres unidades hidrogeológicas del sistema acuífero del Bajo Cauca Antioqueño están sumamente comprometidas por el alto riesgo de contaminación, esto, debido a que no hay explotación planificada del recurso, se reportan inadecuados usos del suelo en la zona de recarga y se ha dado un desarrollo urbano sin sistemas de saneamiento adecuado. Se sugiere no explotar el recurso por encima de los niveles de recarga, implementar sistemas de saneamiento en donde se haya dado un desarrollo

urbano sin la debida planeación y reubicar las actividades que se sitúen en las zonas de recarga.

➤ Es de suma importancia realizar más estudios en los sistemas acuíferos de Santafé de Antioquia y Altiplano nariñense, debido a que la información es muy poca y no se puede dar un concepto concreto en cuanto a las características de estas dos unidades hidrogeológicas.

➤ La CVC al estar un área de alto grado de explotación de las aguas subterráneas, debe procurar aumentar el número de equipos e instrumentos para el verificar constantemente la calidad del recurso hídrico subterráneo, además de capacitar a la comunidad sobre el manejo de éste para prevenir la contaminación y sobreexplotación del recurso.

➤ CARDER debe seguir con la implementación del PMAA, ya que a través del él, prolonga la protección del recurso hídrico subterráneo en su área de jurisdicción.

➤ CORPOCALDAS, aunque cuenta con el plan de manejo de aguas subterráneas, debe considerar implementarlo como prioridad, ya que a través del él se podrán proteger las zonas de recarga y los sistemas acuíferos que se encuentren dentro de su zona. Igualmente es importante que la entidad promueva la investigación a través de convenios entre la CAR y las universidades, donde existirá un beneficio mutuo de los resultados encontrados por parte de ambos entes.

➤ La AMVA debe centrarse en adquirir primordialmente los equipos mínimos de monitoreo para la supervisión de la calidad del recurso hídrico subterráneo o establecer contacto con empresas de consultoría para el estudio de las características hidrogeológicas sistemas acuíferos en su jurisdicción con una frecuencia bien definida. También es importante que ésta entidad ambiental organice su sistema de información, ya que a través de él puede tener un acceso claro y ordenado a todos los datos concernientes a la caracterización de los sistemas acuíferos en la zona. Es importante mencionar que el plan de manejo de aguas subterráneas está en formulación, por lo que se requiere que éste sea terminado e implementado.

BIBLIOGRAFÍA

- AMVA. (2011). *Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá en Jurisdicción del Área Metropolitana-Fase III*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá .
- Angel, C. (1991). *Estudio hidrogeológico en el valle de Patía*. Bogotá D.C: Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Bermoudes, O. (2009). *Evaluación Hidrogeológica Regional del Altiplano Nariñense*. Bogotá D.C: Instituto Colombiano de Geología y Minería Servicio Geológico.
- Best., J. (1982). Cómo Investigar en Educación. En J. Best., *Cómo Investigar en Educación*. (pág. 501). New Jersey : Ediciones Morata. S.A.
- Blackman, A.; Morgenstern, R. Y Topping, E. *Institutional analysis of Colombia's Autonomous Regional Corporations (CARs)*. June, 2006.
Washington, DC. Resources for the future.
- Buitrago, R., & Rojas, J. (2008). *Evaluación de la Gestión de Aguas Subterráneas en Colombia*. Bogotá D.C: Tesis de Pregrado. Universidad de la Salle.
- Camargo, J., & Atehortua, E. (2010). *Evaluación de las Condiciones de Oferta, Uso y Susceptibilidad a la Contaminación de las Aguas Subterráneas en la Región Andina de Colombia*. Bogotá D.C: Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental ECCI.
- Camargo, J., & Atehortua, E. (2010). *Evaluación de las Condiciones de Oferta, Uso y Susceptibilidad a la Contaminación de las Aguas Subterráneas en la Región Andina de Colombia*. Bogotá D.C: Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental.
- Campillo, A. (2012). *Orígenes de la Recarga del Acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque Geoquímico e Isotópico*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- CARDER. (1998). *Estudio de Oferta y Demanda Hídrica en la Subregión 1 del Departamento de Risaralda. Pereira, Colombia*. Medellín: Empresas Públicas de Pereira, Comité Departamental de Cafeteros, Universidad Nacional - Sede Medellín.
- CARDER. (2007). *Plan de Manejo Integrado de Aguas Subterráneas en Pereira y Dosquebradas*. Pereira: Corporación Autónoma Regional de Risaralda.

- CHOW, V. T. (1996). *Hidrología aplicada*. Illinois: Mc Graw Hill.
- Collazo, M., & Jorge, M. (2012). *Manual de Agua Subterránea*. Montevideo: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- CORPOCALDAS. (1998). *Contribución a la Evaluación Hidrogeológica, Susceptibilidad a Fenómenos Volcánicos, Caracterización de Áreas Fuentes de Sedimentos y Morfotectónica de las Fallas Probablemente Activas en la Cuenca del Río Chinchiná (Caldas)*. Manizales : Universidad de Caldas.
- CORPOCALDAS. (2013). DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS PLAN DE ACCIÓN 2013 - 2015. En CORPOCALDAS, *DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS PLAN DE ACCIÓN 2013 - 2015* (pág. 141). CORPOCALDAS.
- CRC. (16 de 06 de 2006). *Corporación Autónoma Regional del Cauca*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional del Cauca:
<http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/patia/CARACTERIZACION%20BIOFISICA%20PATIA.pdf>
- CVC. (2000). *Plan de Manejo para la Protección de las Aguas Subterráneas en el Departamento del Valle del Cauca*. Calí: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- CVC. (2002). *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca:
http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/cantidad_de_agua/BALANCE_HIDRICO_SUB.pdf
- CVC. (05 de mayo de 2013). *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca*. Obtenido de
http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/calidad_de_agua/CaracterizacionisotopicaeHidrogeoquimicaValledelCauca.pdf
- CVC, C. A. (20 de 05 de 2007). *Caracterización Hidrogeoquímica e Isotópica del Acuífero Aluvial del Valle del Cauca*. Obtenido de Caracterización Hidrogeoquímica e Isotópica del Acuífero Aluvial del Valle del Cauca:
http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/calidad_de_agua/CaracterizacionisotopicaeHidrogeoquimicaValledelCauca.pdf
- González, V. (2009). *Estudio Para el Ajuste del Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Santagueda*. Pereira : CORPOCALDAS.

- GW•MATE. (2006). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Definición de Estrategias y Establecimiento de Prioridades*. Washington D.C: Banco Mundial.
- IDEAM. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2010). *Política Nacional Para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2011). *Marco Conceptual Para las Evaluaciones Regionales del Agua*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (SP). *Las Aguas Subterráneas en Colombia: Una Visión General*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- INGEOMINAS. (2004). *Programa de Exploración de Aguas Subterráneas*. Bogotá D.C: Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Keith, D. (1979). *Hidrología (agua subterránea)*. Madrid: Paraninfo.
- López-Geta, J., Fornés, J., Ramos, G., & Villarroja, F. (2009). *Las Aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mesa, O. (1997). *Introducción al Clima de Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial .
- Narvaez Bravo, G., & Leon Aristizabal, G. (2001). Caracterización y zonificación climática en la región Andina. En G. L. GERMÁN NARVÁEZ BRAVO, *Caracterización y zonificación climática en la región Andina*. (pág. 6). Bogotá.: Universidad Nacional de Colombia.
- Otálvaro, L., Arias, G., & Vélez, M. (2009). *Uso de Métodos Geofísicos e Isotópicos en la Construcción de un Modelo Hidrogeológico Conceptual para los Acuíferos de Pereira y Dosquebradas*. Pereira: Recursos Naturales y Ambiente.
- Páez, G. (2004). *Las Aguas Subterráneas Importancia y Perspectivas en el Valle del Cauca- Colombia*. Calí: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.

- Puerto-Suarez, Julian David., Ramírez Julio Cesar. (2012) *Eficiencia Relativa en Entidades Ambientales Gubernamentales: Medición sobre corporaciones autónomas regionales*. Bogotá: Ingeniería y Universidad – Revista Javeriana.
- Quiroz, O., & Cadavid, L. (1999). *Monitoreo al Recurso Hídrico Subterráneo del Km 41 y Santagueda*. Manizales : Corporación Autonoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS).
- Ramirez, G. (1995). *Caracterización Hidrogeologica Valle del Rio Risaralda*. Pereira: CARDER-CANADA.
- Ray K. Linsley, J. (1990). *Hidrología para ingenieros*. México, D.F.: McGRAW-HILL.
- Rodriguez., R. I. (2013). Estudio de la evolución temporal y espacial del nivel estático del acuífero valle de mayo para el periodo 1997-2011. En R. I. Rodriguez.. Montecilo, México.: Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
- Sánchez., J. (2012). Conceptos Fundamentales de Hidrogeología. *Universidad de Salamanca. España.*, 10.
- Survey, U. G. (17 de Marzo de 2013). *Science for a changing world*. Obtenido de <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- UDEA & CORANTIOQUIA. (2011). *Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos - PMAA*. Medellín: Universidad de Antioquía y Corporación Autónoma Regional de Antioquía.
- Universidad Nacional de Colombia. (04 de junio de 2013). *Curso Virtual de Acueductos y Alcantarillado*. Obtenido de Curso Virtual de Acueductos y Alcantarillado: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_5/Pages/captacion_subterraneas.htm
- USGS, S. f. (9 de 01 de 2011). *Acuíferos subterráneos*. Recuperado el 13 de 08 de 2013, de Acuíferos subterráneos.: <http://water.usgs.gov/gotita/earthgwakuifer.html>
- Vargas, N. O. (2005). *Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Vélez, M. (1999). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Vélez, M. (2008). *Determinación de la Recarga con Isótopos Ambientales en los Acuíferos de Santafé de Antioquia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.

Encuesta capacidad regional para las Autoridades Ambientales: modificada de Buitrago & Rojas, 2008.

CVC
Mayo 15 de 2013

NIVEL	Siglas de Corporación Autónoma Regional
1. TALENTO HUMANO	
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva	3 profesionales - 3 técnicos.
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva con limitantes *	2 técnicos en campo - 2 contratistas.*
Personal responsable	1 - Hector Fabio Anstazabal
No hay responsables	-
2. EQUIPO DE INSTRUMENTOS	
Equipo de perforacion+Equipo mínimo (+Otros	
Equipo mínimo	limitados (Sondas, multímetro).
Parte de Equipo mínimo	
No tiene equipos	
3. MONITOREO	
Programa de monitoreo (calidad y cantidad)+Métodos Monitoreo +Pozos de monitoreo nivelados	Algunos de los pozos. X. están nivelados. (zona Centro).
Monitoreo o toma de datos aperiódicos	
No hay red de monitoreo	
4. LABORATORIOS	
Acreditados	X.
En procesos de acreditación	
Sin acreditación	
No hay laboratorios	
5. PROCEDIMIENTO	
Manual para todos los procesos	X. En revisión
Monitoreo de niveles+ Monitoreo en calidad (Muestras y procedimientos analíticos)	
No hay procedimientos	
6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN	
Base datos+Sistemas de información geográfica+Protocolos	X.
Existe una Base de datos o sistemas de información geográfica	
información almacenada	
No hay manejo de información	
7. CONTROL Y APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS	
Concesiones + Contadores + Tasa por uso del agua +Inventarió de pto de agua (70% total de pozos)	X.
Concesiones+Contadores+Tasa por uso del agua +Inventarió de pto de agua (50% total de pozos)	
Concesiones+ Inventario (50% total de pozos)	

*. Problemas de contratación.

Anexo 1.Continuación Encuesta Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.

Concesiones (menor al 50% total de pozos)	
8. PLAN MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS	
Plan en fase de implementación	X
Plan formulado	
Plan en formulación	
No hay plan de manejo de aguas subterráneas	
9. RELACIONES CON LA COMUNIDAD	
Análisis y estrategia de actores Estrategias de divulgación+ Capacitación +Socialización	X
Estrategias de divulgación o de capacitación o de socialización	
No hay estrategias con los actores	
10. CAPACITACIÓN	
Programas de capacitación en aguas subterráneas (Con presupuesto)+Participación en eventos	
Participación activa en eventos	
Participación ocasional en eventos	X
No hay participación	
11. INVESTIGACIÓN	
Investigación programada con universidades y otros centros de investigación	X
Investigación ocasional con universidades y otros centros	
No hay investigación	
12. PRESUPUESTO	
Presupuesto aguas subterráneas/Presupuesto total CAR	

↳ **Procesos:** 300 millones → agua sup. + subterránea.
 60% 180 millones → aguas sub.
 ↳ **Proyectos (2013-2015):** → 1.000 millones.
 ↳ **Presupuesto total corporación**

Anexo 2. Encuesta Corporación Autónoma Regional de Caldas.

Encuesta capacidad regional para las Autoridades Ambientales: modificada de
Buitrago & Rojas, 2008.

CORPORACIÓN CALDAS

NIVEL	Siglas de Corporación Autónoma Regional
1. TALENTO HUMANO	R
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva	
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva con limitantes	
Personal responsable	
No hay responsables	
2. EQUIPO DE INSTRUMENTOS	B
Equipo de perforación+Equipo mínimo+Otros	
Equipo mínimo	
Parte de Equipo mínimo	
No tiene equipos	
3. MONITOREO	B
Programa de monitoreo (calidad y cantidad)+Métodos Monitoreo +Pozos de monitoreo nivelados	X
Monitoreo o toma de datos apendidos	
No hay red de monitoreo	
4. LABORATORIOS	B
Acreditados	
En procesos de acreditación	X
Sin acreditación	
No hay laboratorios	
5. PROCEDIMIENTO	B
Manual para todos los procesos	X
Monitoreo de niveles+ Monitoreo en calidad (Muestreos y procedimientos analíticos)	
No hay procedimientos	
6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN	B
Base datos+Sistemas de información geográfica+Protocolos	X
Existe una Base de datos o sistemas de información geográfica	
información almacenada	
No hay manejo de información	
7. CONTROL Y APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS	/
Concesiones + Contadores + Tasa por uso del agua +Inventario de pto de agua (70% total de pozos)	
Concesiones+Contadores+Tasa por uso del agua +Inventario de pto de agua (50% total de pozos)	
Concesiones+ Inventario (50% total de pozos)	
Concesiones (menor al 50% total de pozos)	X
8. PLAN MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS	

Handwritten notes:

- No hay grupo** (near Siglas)
- Real / hay un solo financiero, el cual son controlista.** (near Siglas)
- Sin embargo es el trabajo de UNAC** (near 4. LABORATORIOS)
- Siguen el del IDEAM** (near 5. PROCEDIMIENTO)
- SIAR** (near 6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN)
- NO** (near 7. CONTROL Y APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS)

Anexo 2.Continuación Encuesta Corporación Autónoma Regional de Caldas.

Plan en fase de implementación	R	
Plan formulado		→ algo de implementación
Plan en formulación		Santoguel Formulado
No hay plan de manejo de aguas subterráneas		Arado el 1 y 2 de 2013 / 3 2013
9. RELACIONES CON LA COMUNIDAD	B	
Análisis y estrategia de actores		
Estrategias de divulgación+ Capacitación +Socialización		X
Estrategias de divulgación o de capacitación o de socialización		
No hay estrategias con los actores		
10. CAPACITACIÓN		
Programas de capacitación en aguas subterráneas (Con presupuesto)+Participación en eventos		
Participación activa en eventos		X
Participación ocasional en eventos		
No hay participación		
11. INVESTIGACIÓN	R	
Investigación programada con universidades y otros centros de investigación		
Investigación ocasional con universidades y otros centros		X
No hay investigación		Consulta Pico Com. contactista
12. PRESUPUESTO		
Presupuesto aguas subterráneas/Presupuesto total CAR		150 millones / 26 mil millones

Anexo 3. Encuesta Corporación Autónoma Regional de Risaralda.

Encuesta capacidad regional para las Autoridades Ambientales: modificada de Buitrago & Rojas, 2008.

Corporación: CARDER
 Fecha: 19 de Junio de 2013
 Encuestado: Nora Luz Giraldo de Gomez

NIVEL	Siglas de Corporación Autónoma Regional
1. TALENTO HUMANO	
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva*	1 - Geólogo
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva con limitantes*	3 - 2 Ingenieros 1. Técnico.
Personal responsable	Nora Giraldo
No hay responsables	
2. EQUIPO DE INSTRUMENTOS	
Equipo de perforación+Equipo mínimo +Otros	
Equipo mínimo	X - Sonajas (1) - Multi parámetros (2) - Bata (2) - Bata (2) - EPS (3).
Parte de Equipo mínimo	
No tiene equipos	
3. MONITOREO	
Programa de monitoreo (calidad y cantidad)+Métodos Monitoreo +Pozos de monitoreo nivelados	X.
Monitoreo o toma de datos aperiódicos	
No hay red de monitoreo	
4. LABORATORIOS	
Acreditados	X
En procesos de acreditación	X Aco de muestreo

2 - Contratistas
 1 - Planta.

Anexo 3. Continuación Encuesta Corporación Autónoma Regional de Risaralda.

Sin acreditación	
No hay laboratorios	
5. PROCEDIMIENTO	
Manual para todos los procesos	
Monitoreo de niveles+ Monitoreo en calidad (Muestras y procedimientos analíticos)	X
No hay procedimientos	
6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN	
Base datos+Sistemas de información geográfica+Protocolos	X
Existe una Base de datos o sistemas de información geográfica	
Información almacenada. No hay manejo de información	
7. CONTROL Y APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS	
Concesiones + Contadores + Tasa por uso del agua +Inventarió de pto de agua (70% total de pozos)	X
Concesiones+Contadores+Tasa por uso del agua +Inventarió de pto de agua (50% total de pozos)	
Concesiones+ Inventario (50% total de pozos)	
Concesiones (menor al 50% total de pozos)	
8. PLAN MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS	
Plan en fase de implementación	X
Plan formulado	
Plan en formulación	
No hay plan de manejo de aguas subterráneas	
9. RELACIONES CON LA COMUNIDAD	
Análisis y estrategia de actores Estrategias de divulgación+ Capacitación +Socialización	
Estrategias de divulgación o de capacitación o de socialización	X

Anexo 3.Continuación Encuesta Corporación Autónoma Regional de Risaralda.

No hay estrategias con los actores	
10. CAPACITACIÓN	
Programas de capacitación en aguas subterráneas (Con presupuesto)+Participación en eventos	X
Participación activa en eventos	
Participación ocasional en eventos	
No hay participación	
11. INVESTIGACIÓN	
Investigación programada con universidades y otros centros de investigación *	X
Investigación ocasional con universidades y otros centros	
No hay investigación	
12. PRESUPUESTO	
Presupuesto aguas subterráneas/Presupuesto total CAR	89'600.000 / 12.239'416.456

* Alianza con UTP.

Anexo 4. Encuesta Área Metropolitana del Valle de Aburrá Unidad Ambiental.

Quindío a Nubes, 2000.

NIVEL	AMVA - Margueta Rojas Siglas de Corporación Autónoma Regional
1. TALENTO HUMANO	
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva	
Equipo de trabajo con dedicación exclusiva con limitantes	
Personal responsable	
No hay responsables	
2. EQUIPO DE INSTRUMENTOS	
Equipo de perforación+Equipo mínimo+Otros	
Equipo mínimo	
Parte de Equipo mínimo	
No tiene equipos	X
3. MONITOREO	
Programa de monitoreo (calidad y cantidad)+Metodos Monitoreo +Pozos de monitoreo nivelados	X
Monitoreo o toma de datos aperiódicos	
No hay red de monitoreo	
4. LABORATORIOS	
Acreditados	
En procesos de acreditación	
Sin acreditación	
No hay laboratorios	X
5. PROCEDIMIENTO	
Manual para todos los procesos	
Monitoreo de niveles+ Monitoreo en calidad (Muestreos y procedimientos analíticos)	X
No hay procedimientos	
6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN	
Base datos+Sistemas de información geográfica+Protocolos	
Existe una Base de datos o sistemas de información geográfica	
información almacenada	
No hay manejo de información	X
7. CONTROL Y APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS	
Concesiones + Contadores + Tasa por uso del agua +Inventario de pto de agua (70% total de pozos)	
Concesiones+Contadores+Tasa por uso del agua +Inventario de pto de agua (50% total de pozos)	
Concesiones+ inventario (50% total de pozos)	
Concesiones (menor al 50% total de pozos)	
8. PLAN MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS	

que lo hace la U de Antioquia

Anexo 4.Continuación Encuesta Área Metropolitana del Valle de Aburrá Unidad
Ambiental.

Plan en fase de implementación	X Unos minutos por el día
Plan formulado	
Plan en formulación	
No hay plan de manejo de aguas subterráneas	
9. RELACIONES CON LA COMUNIDAD	
Análisis y estrategia de actores	
Estrategias de divulgación + Capacitación + Socialización	
Estrategias de divulgación o de capacitación o de socialización	X Apenas va a iniciar
No hay estrategias con los actores	
10. CAPACITACIÓN	
Programas de capacitación en aguas subterráneas (Con presupuesto) + Participación en eventos	X Apenas va a empezar
Participación activa en eventos	
Participación ocasional en eventos	
No hay participación	
11. INVESTIGACIÓN	
Investigación programada con universidades y otros centros de investigación	X
Investigación ocasional con universidades y otros centros	
No hay investigación	
12. PRESUPUESTO	
Presupuesto aguas subterráneas/Presupuesto total CAR	752 millones ↓ 250 → Red Man 500 → del 2015 reanexo agua y sus