

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL VALLE SUPERIOR DEL RÍO CESAR

GROUNDWATER CHARACTERIZATION IN THE UPPER CESAR RIVER VALLEY

MSc. Jorge Alberto Armenta Jiménez^a, MSc. Romel Jesús Gallardo Amaya^b

^aCorporación Autónoma Regional del Cesar
Carrera 9 No. 9 - 88, Valledupar, Colombia, jorge.armenta@corpocesar.gov.co

^bUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación GIGMA
Vía Acolsure Sede El Algodonal, Ocaña, Colombia, rjgallardo@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 14-05-2016

Fecha de aprobación: 03-10-2016

Resumen: Se llevó a cabo la caracterización del agua subterránea que es demandada en el valle superior del río Cesar, la cual es destinada al abastecimiento público, ganadería, agricultura, pequeña industria, entre otros usos. Para el año 2015 se obtuvo el modelo conceptual de flujo, así como la tipificación en campo de la calidad fisicoquímica básica del agua, el tipo de aprovechamiento, régimen de bombeo y estado sanitario de cada punto de manifestación del recurso hídrico. A partir de lo anterior, se construye cartografía temática y se establece una comparación con datos tomados para la misma región en 2004, como apoyo a la gestión del agua subterránea por parte de los usuarios y las entidades gubernamentales.

Palabras clave: acuífero, flujo, inventario, pozo.

Abstract: The research process undertaken, had as its main objective to determine what teaching practices and their relationship with the pedagogical model of Francisco de Paula Santander University Ocaña ; was framed under a qualitative research , since it was in the first instance , to go to the art of the interview and focus groups, as well as the observation , which allowed recognize some educational practices of teachers.

The study allowed us to determine which teaching practices are not aligned to the pedagogical model of the University, which is the Social Constructivism, so it is necessary to establish an improvement plan aimed at strengthening teaching practices and that these in turn were relevant with the pedagogical model Groundwater, which is destined for public aqueducts, agriculture, cattle, small industries, among other uses, was characterized in the upper Cesar River valley. For the year 2015 a groundwater flow conceptual model and a physical and chemical water quality model are proposed, including collected information on kind of use, pumping regime and sanitary state of the water point (wells, springs). From this information a thematic map was produced and it is compared with data obtained in a 2004 hidrogeology campaign, as a tool for users and agencies to manage water resources.

Keywords: acuífero, flujo, inventario, pozo.

1. INTRODUCCIÓN

La educación como proceso de socialización, es tan antigua como el mismo ser humano; como toda creación natural ha sido un tema de gran debate. De allí que históricamente muchos estudiosos se han ocupado de reflexionar sobre la misma, pero quizás tal reflexión se intensifica y sistematiza al ritmo del desarrollo científico-técnico.

Al transcurrir los años, se han generado diversas teorías, enfoques, modelos pedagógicos que dan razón a un momento histórico, cultural y social; estos constituyen parámetros específicos relacionados con los procesos de enseñanza-aprendizaje ajustados a las características de las instituciones y del medio social en la cual se desarrollan dichas instituciones.

Es de importancia, en este momento, entender que el que el saber pedagógico no se refiere solo a lo que se ha pensado en torno a la educación, sino que está caracterizado sobre todo por la reflexión que el docente está haciendo en forma constante a partir o con respecto a lo que realiza en el procesos de enseñanza

Desde la perspectiva anterior y teniendo en cuenta que las reflexiones en torno a los procesos pedagógicos, son constantes y diversos, podría decirse que en la actualidad las crisis educativa, no se resuelve eligiendo entre la variada oferta de estrategias y metodologías las más adecuadas, dejando de lado métodos que en este momento son llamados arcaicos, tradicionales, en el sentido que muchos manifiestan que no sirven y que hay que aplicar nuevas formas de enseñanza, afirmación arriesgada, pues quizás no existe procedimiento que sea más adecuado que el otro, mejor que el otro; de tal manera que para estar en lo correcto se tuviera que desechar todo lo que individualmente se considere inadecuado; lo que sí se puede hacer es generar discusión alrededor de este tema trascendental y por supuesto preguntarse: ¿por qué unos métodos suelen ser más adecuados que otros? ¿Por qué se manifiesta abiertamente que la cátedra magistral ya no sirve y que hay que reemplazarla por otras formas de impartir el saber? ¿En qué consiste la transformación curricular?

Como lo establece Murcia, citado por Prieto (2002).

El análisis de la realidad concreta y

cotidiana de las salas de clases, permite visualizar la existencia de una combinación de elementos que interactúan entre sí. Los efectos de esta interacción, no sólo a veces apuntan hacia propósitos divergentes, sino que, en muchos casos, aparecen contradictorios respecto de lo que supuestamente deberían ser los objetivos del proceso. La interacción implica, necesariamente la comprensión de significados y la interpretación recíproca de los actos propios y en la que la cotidianidad es permanentemente definida y enmarcada en un contexto físico, institucional, histórico y cultural. Estos contextos afectan de manera indiscutible los logros del aprendizaje, por lo que resulta casi ingenuo atribuir relaciones de causalidad entre medios o métodos del profesor y rendimiento, pues son muchos otros los elementos y aspectos que están interactuando e incidiendo en los efectos o resultados del proceso (p.73)

En consecuencia de los aspectos anteriormente citados, surgen los modelos pedagógicos, los cuales según Bernal (2010).

Son representaciones ideales del mundo de lo educativo para explicar teóricamente su hacer. Dichos modelos son dinámicos, se transforman y pueden, en determinado momento, ser aplicados en la práctica pedagógica. Por lo tanto el modelo pedagógico implican los contenidos, los modos de la enseñanza de acuerdo al desarrollo de los niños y niñas y las características de la práctica docente que pretende lograr aprendizajes y se concreta en el aula. Se considera también el modelo pedagógico como un instrumento de la investigación de carácter teórico creado para reproducir idealmente el proceso enseñanza – aprendizaje, paradigma que sirve para

entender, orientar y dirigir la educación. Se hace evidente la diversidad de conceptos determinantes asociados a la definición de modelo pedagógico (p.4).

Por otro lado de acuerdo a Gago (2002) “un modelo pedagógico, es una representación arquetípica o ejemplar del proceso de enseñanza-aprendizaje, en la que se exhibe la distribución de funciones y la secuencia de operaciones en la forma ideal, que resulta de las experiencias recogidas al ejecutar una teoría del aprendizaje” (p.2)

El estudio de los modelos pedagógicos permite a los docentes tener un panorama de cómo se elaboran los programas, de cómo operan y cuáles son los elementos que desempeñan un papel determinante en un programa o en una planeación didáctica. En algunos de ellos los profesores pueden ver claramente los elementos más generales que intervienen en una planeación didáctica, así como las relaciones de antecedente y consecuente que guardan entre sí. De allí que Porlan (1993) manifiesta:

Para poder identificar un modelo pedagógico se necesita conocer sus características fundamentales que, según Porlan surgen al responder tres preguntas esenciales: ¿Que enseñar? Es decir, qué contenidos, en qué secuencias y en qué orden, su enseñabilidad y relevancia; ¿Cómo enseñar? Se refiere a los métodos, medios y recursos. Aquí adquieren un Valor relevante los estilos de enseñanza de los maestros y de aprendizaje de los estudiantes: ¿Qué y cómo evaluar? Referido no sólo a los momentos, sino también a los instrumentos de comprobación y a los contenidos previstos desde el inicio del proceso. En este

aspecto también adquieren importancia los estilos de enseñanza y aprendizaje (p.15).

De allí se hace necesario plantear que todo modelo pedagógico debe responder a un enfoque, una metodología y una evaluación; es indispensable conocer también qué percepción tienen de estos tres elementos los estudiantes, los mismos docentes para con ello facilitar y aclarar qué modelo pedagógico puede ser pertinente de acuerdo a las características curriculares, colectivas y sociales, además permite concebir de manera clara la práctica educativa.

Según Astolfi, (1997) hay tres modelos predominantes en la enseñanza: “transmitivo, de condicionamiento y constructivista, que sirven -explícita o implícitamente-, como base para las prácticas y estilos de los maestros. Cada uno dispone de una lógica y de una coherencia que habrá de caracterizarlo, pero sobre todo, cada uno responde a diferentes situaciones de eficiencia” (p.34)

Continúa diciendo Astolfi et al (1997)

El modelo transmitivo o tradicional se refiere principalmente a la elaboración de un programa de estudios. Los elementos que presentan son mínimos, ya que no se hacen explícitas las necesidades sociales, la intervención de especialistas, las características del educando, ni tampoco se observan las instancias de evaluación del programa de estudios. El esquema es muy sencillo. En él destacan los cuatro

elementos siguientes:

- El profesor, que es el elemento principal en el modelo tradicional, ya que tiene un papel activo: ejerce su elocuencia durante la exposición de la clase, maneja numerosos datos, fechas y nombres de los distintos temas, y utiliza el pizarrón de manera constante.
- El método: Se utiliza cotidianamente la clase tipo conferencia, abundantes apuntes, la memorización, y la resolución de los cuestionarios que presentan los libros de texto.
- El alumno, que en este modelo no desempeña una función importante, pues su papel es más bien receptivo, es decir, es tratado como objeto del aprendizaje y no se le da la oportunidad de convertirse en sujeto del mismo.
- La información o contenido se presenta como temas, sin acotar la extensión ni la profundidad con la que deben enseñarse. De esta manera, algunos profesores desarrollan más unos temas que otros creando distintos niveles de aprendizaje en grupos de un mismo grado escolar.

Este Modelo concibe la enseñanza como una actividad artesanal y al profesor como un artesano cuya función es explicar claramente y exponer el conocimiento a los estudiantes de manera progresiva. Si se presentan errores, son atribuibles al alumno por no adoptar la actitud esperada. Dentro de esta concepción educativa se pueden distinguir dos enfoques de la práctica del docente:

Astolfi et al (1997.p 23) el primero es un enfoque enciclopédico, en el que el profesor

es un especialista lleno de información; la enseñanza es una pura transmisión que al final se resume en la acumulación de conocimientos y no se hace distinción entre saber y saber enseñar.

El segundo enfoque es el comprensivo, en el que el profesor es un intelectual que comprende lógicamente la estructura de la materia pero sólo la transmite. En ambos enfoques se resta importancia al conocimiento pedagógico que no esté relacionado con las disciplinas en su modo de transmisión y presentación, ni al conocimiento que se deriva de la experiencia práctica como docente. Se trata de un aprendizaje basado en la teoría.

En resumen, en esta perspectiva el aprendizaje es la simple comunicación entre emisor (maestro) y receptor (alumno) y se ignora el fenómeno de comprensión y el proceso de la relación con sentido de los contenidos.

Siguiendo a Astolfi, et al (1997 p.13) el modelo de condicionamiento o pedagogía (conductista), está basado en los estudios de Skinner y Pavlov sobre aprendizaje; se enfatiza en los medios necesarios para llegar a un comportamiento esperado y verificar su obtención.

Finalmente, el Modelo Constructivista o de perspectiva radical, concibe la enseñanza como una actividad crítica, y al docente como a un profesional autónomo que investiga reflexionando sobre su práctica. Este modelo difiere de los anteriores en la forma como se maneja el concepto de error: es un indicador que permite hacer análisis de los procesos intelectuales que ocurren al interior de quien aprende. Para el

constructivismo, aprender es arriesgarse a errar (ir de un lado a otro), y muchos de los errores cometidos en situaciones didácticas deben considerarse como momentos creativos. Para el constructivismo la enseñanza no es una simple transmisión de conocimientos; es una tarea de organización de métodos de apoyo y situaciones de aprendizaje que permiten a los alumnos construir su propio saber. No se aprende sólo registrando en el cerebro. Se aprende construyendo la propia estructura cognitiva.

Desde las apreciaciones anteriores, la Educación superior debe garantizar una educación de calidad; para ello es fundamental que los programas que se oferten se fundamenten en currículos que ofrezcan a los estudiantes el desarrollo de competencias que se ajusten a las necesidades de la sociedad.

Indudablemente, uno de los componentes básicos en la calidad educativa, son las prácticas docentes, estas, son variables fundamentales en los procesos académicos, ya que de las buenas prácticas docentes depende la formación de los futuros profesionales, formación que debe estar de la mano con lo que la sociedad exige.

Las prácticas docentes no pueden estar desarticuladas con el modelo pedagógico que las universidades adoptan teniendo en cuenta el contexto, dicho modelo pedagógico debe verse reflejado a través de los métodos, técnicas y metodologías aplicadas a través del desarrollo didáctico de la asignatura, por supuesto no se puede dejar de lado la evaluación, la cual también debe estar correlacionada con el modelo pedagógico; de esa manera, el proceso de enseñanza- aprendizaje y la calidad académica sería más pertinente.

Desde lo anterior, se hizo importante realizar un estudio que permitiera determinar y conocer las prácticas docentes y su relación con el modelo pedagógico de la Universidad, en este caso, con el modelo pedagógico de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, el cual corresponde al modelo Constructivista Social.

El Proceso investigativo dejó concluir que hace indispensable iniciar un proceso de formación y autoformación por parte de los docentes que ayude a transformar al docente, ya que se consideró que el modelo pedagógico de la Universidad en primera mediada, no es conocido, solo se identifica el nombre, pero, se desconoce las bases epistémicas del mismo, sus características, su didáctica, en fin no hay claridad al respecto, en consecuencia, las clases son una mezcla de distintos modelos.

La formación no es tarea fácil ya que esto exige involucrar una serie de cambios en los diseños curriculares, en el diseño de la institución como eje fundamental del proceso, modos de evaluar la docencia y al docente, por lo que éste proceso implica que la Institución trace un plan de mejoramiento institucional y docente a largo y corto plazo.

De tal manera, pues, lo que hay que emprender es la reflexión pedagógica a través de una forma holística, resultando conveniente no buscar fórmulas de acuerdo a posibles modelos y / o estrategias metodológicas sino más bien entender lo pedagógico como una toma de decisiones críticas acerca del proceso mismo de la educación convirtiendo al docente, acá, como un eje fundamental; dicho de otra manera, el docente se convierte en un actor principal en el proceso pues es él quien define y articula las distintas metodologías

que permiten mejorar los procesos académicos.

Indiscutiblemente, desde la mirada anterior, el saber pedagógico, no puede limitarse a un saber instrumental acerca de cómo manejar y aplicar un modelo curricular adoptado o en vías de ser adoptado e impuesto desde la instancia superior tal como lo exige la actual racionalidad instrumental y funcional, de acuerdo con los lineamientos de la tecnología; esta apertura ha implicado que la modernización exigida se ha entendido como la superación acrítica del pasado, al respecto Bedoya (2011) indica que:

Hay que adoptar necesariamente el nuevo esquema impuesto ya que estas serán las nuevas reglas de juego, por lo tanto deseosos de que todo cambie o de que la corriente de cambio los envuelva se ha cambiado por cambiar, sin entender porque hay que hacerlo, sin asumir el reto de la reflexión (p.45).

Por otro lado y respecto a las anteriores apreciaciones, no se puede dejar de lado y restarle importancia a la llamada “revolución cognitiva”, es valioso destacar que en este siglo, la comprensión del aprendizaje se debe ver reflejada en una mayor comprensión de la naturaleza social del aprendizaje, del impacto del contexto en los procesos de pensamientos de los educandos del recurso hídrico, como insumo para el desarrollo de diversas actividades, sean estas de índole económica o eminentemente social. El agua subterránea, como recurso renovable, ha estado siempre disponible en el entorno natural, aunque tradicionalmente el acceso a él es limitado, en virtud de la localización que normalmente ocupa en el ecosistema (desde el subsuelo superficial hasta las grandes

profundidades). En algunas regiones del mundo, como es el caso de los Estados Unidos, el agua subterránea representa “alrededor del 40 por ciento del agua utilizada para todos los fines (excepto la generación de energía hidroeléctrica y el enfriamiento de las centrales eléctricas)” (Tarbuck, Lutgens y Tasa, 2005). Se estima que las aguas subterráneas equivalen a más del 14 % del agua dulce de la hidrósfera, siendo la de los ríos tan solo un 0.004%, de allí la importancia que tienen estos depósitos de agua dulce para los seres humanos (Heath, 1987). Para el caso de Colombia particularmente en los departamentos de Guajira y Sucre, “casi que el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento de agua, para consumo humano. En Sucre el 91.7% del área urbana se abastece de fuentes subterráneas, captadas a través de pozos profundos. En promedio se extraen 217.7 L/hab/día” (Vélez, 1999).

De acuerdo al Estudio Nacional del Agua 2014 en lo relacionado a aguas superficiales para Colombia “se estima un rendimiento hídrico (o cantidad de agua que fluye por unidad de área) de 56 l/s/km². Este rendimiento hídrico está por encima del promedio mundial (10 l/s-km²) y del rendimiento latinoamericano (21 l/s-km²), alcanzándose Bajo estas condiciones se alcanza una escorrentía superficial de 1.764 mm, equivalente a un volumen anual de 2.012 km³” (IDEAM, 2014). A pesar de los índices anteriores a medida que pasa el tiempo, con mayor frecuencia la oferta de agua superficial experimenta disminución respecto a los valores medios, debido al inadecuado manejo que de ella se ha ejercido, razón por la cual el recurso hídrico subterráneo se torna en la alternativa que tienen las distintas comunidades, en especial en épocas de déficit (fenómeno de variabilidad climática El Niño).

Por lo anterior, es importante tener un conocimiento apropiado de las principales características del agua subterránea, con el fin de determinar las reales posibilidades de uso y además, disponer de las bases para definir las estrategias de administración de este recurso, que se encuentra en formaciones del subsuelo denominadas acuíferos, que corresponden a masas de suelo (suelo, roca) que tienen la propiedad de almacenar agua en sus poros, y transmitirla o entregarla (dejarla salir de tales poros) bajo la acción de agentes externos o por medios naturales (cambios de presión). Estudios realizados estiman que alrededor del 30% de las aguas superficiales provienen de estas fuentes de agua subterránea (Ordoñez, 2012).

Para disponer de dicho conocimiento, se debe llevar a cabo labores de campo, consistentes esencialmente en el inventario de puntos de manifestación de agua subterránea (MINAMBIENTE, 2013), determinando las formas de aprovechamiento a que es sometida y estableciendo sus principales características.

En el valle superior del río Cesar, al norte del departamento del Cesar (Colombia) tradicionalmente se ha hecho uso de agua subterránea con fines mayoritariamente ganaderos (abrevadero) seguido de la agricultura (riego de pastos y cultivos industriales), sin que se preste demasiada atención a la calidad y cantidad del agua disponible, lo cual ha resultado en numerosos casos en la falta de eficiencia en la aplicación de tan importante recurso y en la afectación negativa de la calidad del mismo, como consecuencia del uso continuado de agroquímicos en los últimos 40 años, al punto que probablemente sea irreversible esta situación o, cuando menos, muy costosa su remediación.

2. METODOLOGÍA

El levantamiento de la línea base del agua subterránea implica la realización de dos actividades primordiales: revisión de la literatura (si ya se dispone de dichos datos) sobre formaciones geológicas, hidrografía e hidrología, y trabajo de campo encaminado este al conocimiento, de primera mano, de las manifestaciones de este recurso.

Para el efecto se cuenta con la Evaluación del Agua Subterránea en el departamento del Cesar (Angel y Hughett, 1995), el estudio que sobre hidrogeología realizó el entonces Instituto Colombiano de Geología y Minería (hoy Servicio Geológico Colombiano), en el que se da cuenta que la zona de estudio primordialmente corresponde a la Llanura aluvial del río Cesar (Qlla), de edad cuaternaria, y que está conformada por depósitos acumulados por las corrientes superficiales en las zonas planas a semiplanas de la región. Son de granulometría fina a gruesa, y están compuestos por limos, arenas finas a gruesas y gravas, siendo la principal corriente superficial aportante el río Cesar y sus afluentes. Este depósito es calificado como de gran importancia hidrogeológica. También se tiene la presencia, en sectores localizados, de afloramientos de la unidad La Quinta Sedimentaria (Jqs), que predomina en la Serranía de Perijá (al este del valle). Así mismo, se tiene conocimiento de la existencia de múltiples puntos de manifestación de aguas subterráneas (pozos, aljibes, manantiales) a partir del inventario general levantado por Corpocesar desde 2004.

La fase de campo comprendió básicamente el inventario de puntos de manifestación de aguas subterráneas (pozos, aljibes, manantiales), que incluye la identificación

del predio y propietario del mismo en que se ubica cada punto, la medición de las características físicas del punto (diámetro, profundidad, tipo de tubería), equipo de bombeo instalado, medio de almacenamiento de agua, usos a que se destina el agua, método de aprovechamiento, aforo de caudal de bombeo (si aplica), estado sanitario del punto, aunque los datos principales son la ubicación del punto (coordenadas, mediante el sistema de posicionamiento global), el nivel de agua - ya sea estático (sin bombeo) o dinámico (con bombeo) -, la calidad físicoquímica básica medida en campo y la calidad medida en laboratorio a muestras recolectadas en la fase de campo.

El nivel de agua subterránea (distancia desde la superficie del terreno hasta la superficie de agua dentro del pozo, Figura 1,) es medido con una sonda eléctrica. La calidad del agua se mide a una muestra extraída del pozo, con el uso de equipos de medición electrónica de parámetros de calidad, del tipo multiparamétrico (Armenta, 2009).

Con la información recolectada se diligenció el Formulario Único Nacional para inventario de puntos de aguas subterráneas, con el que se puede construir una base de datos, para su representación cartográfica y, por lo tanto, poder ser consultada por parte de los usuarios y entidades interesadas en su contenido.

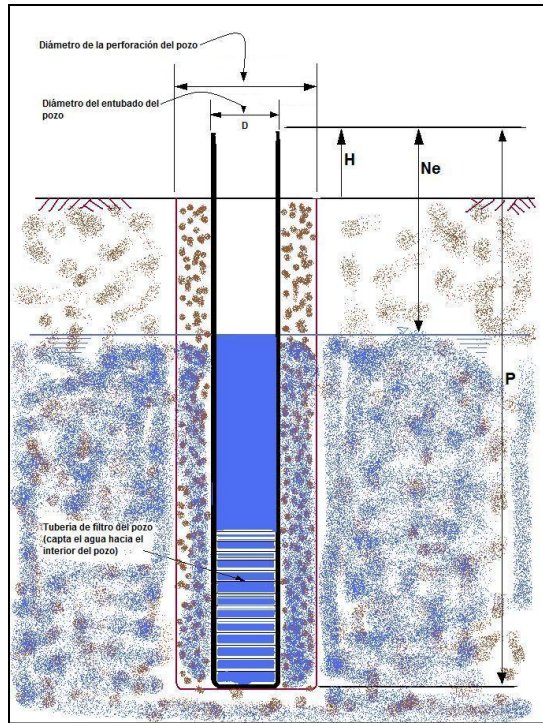


Figura 1. El nivel estático se mide desde la boca del pozo (Ne), o desde la superficie del suelo (descontando la cabeza del pozo) hasta la superficie del agua. Fuente: Elaboración propia.

En 2015 se seleccionó una porción de la zona norte del departamento del Cesar (Figura 2), específicamente en el territorio de los municipios de Valledupar, Robles La Paz y San Diego de las Flores, abarcando una extensión superficial de 925 kilómetros cuadrados, como continuación de un programa de inversión e investigación institucional. Como uno de los objetivos, se planteó realizar una comparación con información recolectada en 2004 para la misma región (aunque en una extensión menor) y, partiendo de la base de que el uso del suelo no ha sido modificado sustancialmente (ganadería, agricultura extensiva de pastos), determinar si pudo haber una modificación en la calidad del agua. En cuanto a cambios en la cantidad, estos se determinan estableciendo la magnitud de las variaciones de los niveles de acuerdo con la duración de los ciclos hidrológicos que en principio es anual, aunque los datos recolectados sí permiten

establecer si en el período analizado ha habido recarga hídrica o no hacia el subsuelo.

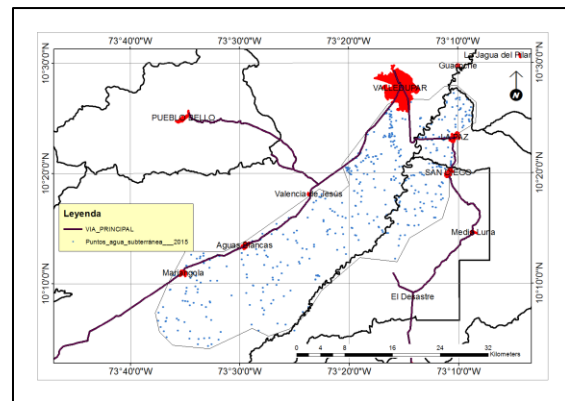


Figura 2. Zona de estudio. Se muestra la distribución de puntos de agua subterránea inventariados en los municipios de Valledupar, Robles La Paz y San Diego de Las Flores. Fuente: Elaboración Propia

La medición del nivel de agua subterránea tiene dos objetivos primordiales: establecer si hay cambios en el almacenamiento de agua en el subsuelo (disponibilidad), y determinar la dirección del flujo de la masa de agua en el subsuelo (gradiente de flujo). Esta medición se llevó a cabo con una sonda eléctrica, la cual es una cinta métrica graduada al milímetro, dotada de un electrodo en uno de sus extremos, que al introducirse dentro del pozo y hacer contacto con el agua emite una alarma luminosa y sonora, (momento en el cual se lee en la cinta métrica el nivel estático). La sonda debe ser introducida dentro de una tubería (3/4" de diámetro) perforada en sus paredes, que a su vez se ha instalado en el pozo, para evitar su atascamiento en el interior del mismo. La lectura realizada debe ser descontada de la distancia que sobresale la tubería de revestimiento sobre la superficie del terreno (a menudo llamada cabeza del pozo), para así obtener la lectura del nivel con respecto a la superficie del terreno (si se dispone del valor de la cota sobre el nivel del mar, se tendrá la elevación del agua subterránea sobre dicho nivel, o

cota piezométrica). Conviene siempre realizar la medición cuando el pozo no ha sido bombeado en, por lo menos, las 48 horas anteriores, con lo que se obtiene el llamado nivel estático. Si la medición se lleva a cabo mientras el pozo es bombeado, el nivel se llamará nivel dinámico (el agua estará descendiendo dentro del pozo) y si se hace minutos (incluso algunas horas) luego de haberse apagado la bomba el nivel se llamará nivel de recuperación. La sonda deberá colocarse, en lo posible, en el mismo sitio de la parte superior del pozo cada vez que se mida el nivel (de manera similar, la profundidad podrá ser medida llevando la sonda hasta el fondo del pozo, si no hay obstrucciones como equipos de bombeo, cables, etc.). En el caso de los manantiales, no se mide el nivel, puesto que ello no tiene ningún significado (se establecerá, entonces, la cota del punto de afloramiento de agua).

La medición de la calidad del agua se realizó sobre una muestra extraída del interior del pozo, de manera ideal luego de una operación de bombeo de al menos 15 a 20 minutos (Kruseman y De Ridder, 2000), o por métodos manuales con la ayuda de un bailer (tubo de 1 litro de capacidad fabricado en acero inoxidable y dotado de válvulas de cierre automático, que se introduce en el pozo mediante una cuerda hasta la profundidad deseada para luego ser extraído), dispuesta en un medio de almacenamiento temporal (jarra de vidrio), en el cual se introducen los electrodos de los equipos de medición portátiles (conductivímetros, ph-metros). Si el muestreo se hace mediante bombeo (Quintero, 1982), la calidad debe medirse periódicamente hasta que se establezca que no hay variación en el valor de los parámetros de calidad o que dicha variación es de reducida magnitud. En el caso de los manantiales, la muestra se recolectó sin

necesidad de bombeo, puesto que el agua sale en superficie por sí misma.

La localización del punto de manifestación de agua se llevó a cabo con ayuda de un receptor del sistema de posicionamiento global (SPG), dejando idealmente el equipo durante al menos 15 a 20 minutos (aunque por restricciones de tiempo se colocó de 5 a 10 minutos mientras se recolectó la demás información del pozo) para obtener un mejor promedio de la señal satelital (puede hacerse esto mientras se desarrollan las demás actividades del inventario).

Como restricciones en esta actividad pueden tenerse las siguientes:

- Que el pozo se encuentre sellado en su parte superior y por lo tanto no se pueda introducir la sonda para medir el nivel de agua en su interior. Esto se soluciona instalando una tubería de 3/4" de diámetro en el interior de la tubería de revestimiento, que tenga su extremo superior fuera del pozo, y cuya parte inferior está 1 metro por encima del punto de bombeo.
- Que no haya suficiente espacio para la introducción de la tubería de medición o de la sonda. En este caso, no podrá realizarse la lectura del nivel de una manera segura sin poner en riesgo la integridad de la sonda.
- Que no sea posible extraer la muestra de agua mediante bombeo y, sólo lo sea mediante método manual (bailer). En este caso, la muestra obtenida corresponderá a la del agua almacenada en el interior de la perforación, y no a la almacenada en la formación acuífera, con lo que es posible que la calidad no sea la representativa del agua de formación, puesto que el pozo podría albergar elementos extraños (basuras, restos de combustible y lubricante de la bomba, etc.) que necesariamente

alterarán el valor normal de los parámetros de calidad.

- Que no sea posible medir el nivel ni extraer la muestra para análisis de calidad. En este caso, sólo podrán determinarse los demás aspectos del inventario, y el punto de agua no será objeto de representación espacial (análisis cartográfico), lo cual es una limitante seria porque podría llegar a ser determinante en este sentido.

En el trabajo cuyos resultados se presentan, se afrontaron todas las restricciones aludidas, y además de aquellas como el no poder, eventualmente, acceder al predio, no encontrar en el sitio quién suministrara la información y daños en los equipos de medición, entre otras.

El inventario realizado está conformado por puntos de manifestación de aguas subterráneas, activos en su mayoría, correspondiendo a pozos o aljibes que principalmente captan la primera capa acuífera (depósito de edad cuaternaria) del valle del río Cesar, y que son aprovechados con fines agropecuarios y de abastecimiento doméstico en predios rurales en especial. Con los datos del inventario, tomados en campo, se procedió a construir una base de datos geográfica, para su procesamiento en el software ArcGIS (ESRI, 2004) con el fin de construir tres modelos digitales del terreno, con los cuales se puede describir apropiadamente algunas de las principales características del agua subterránea: nivel estático (NE) y el modelo de flujo, conductividad eléctrica (CE) del agua y potencial de hidrógeno (pH) del agua. En este procedimiento, se se utilizaron técnicas estándares de Geoestadística (interpolación por los métodos IDW, Spline, Kriging), seleccionando la que mejor describiera las características aludidas a nivel regional. En este paso, se seleccionaron para la elaboración de cada modelo, aquellos puntos

para los cuales se pudo medir físicamente las variables objeto de análisis: NE, CE y pH (no siempre fue posible medir para un mismo punto las tres variables). Los modelos digitales se construyeron con celdas cuadradas, de 480 metros de lado, ya que la distancia promedio entre pozos para toda la zona de estudio es de 960 metros.

3. RESULTADOS

El inventario de puntos de manifestación de aguas subterráneas cubrió una extensión de 925 kilómetros cuadrados en la zona norte del departamento del Cesar, alcanzando una cifra de 485 puntos (109 pozos, 372 aljibes, 4 manantiales, aunque estos últimos no entraron en el cálculo de nivel estático). El NE tuvo un rango de 0.89 metros a 21.14 metros, el pH de 6.1 a 8.5 y la CE de 2.84 a 4200 microsiemens/cm. En 2004 se tenía un inventario de 451 puntos de agua subterránea (399 aljibes, 51 pozos , 1 manantial) en una región de aproximadamente 400 kilómetros cuadrados, sin incluir la porción de los municipios de Robles La Paz y San Diego de las Flores contemplada en esta oportunidad (Cañas y Armenta, 2007) .

En la Figura 3 se ilustra la variable CE del agua subterránea en el año 2004 y en la Figura 4 la misma variable para el año 2015.

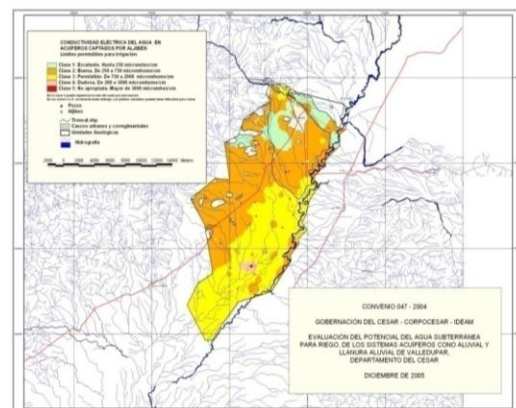


Figura 3. Conductividad eléctrica del agua subterránea para 2004.
Fuente: Elaboración propia.

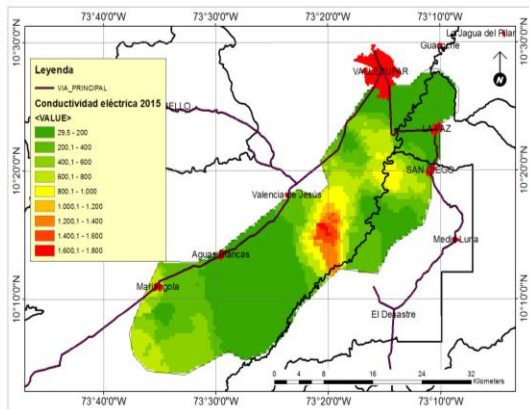


Figura 4. Conductividad eléctrica del agua subterránea para 2015.
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los datos obtenidos para la CE, se encuentra que el núcleo de aguas con valores moderadamente altos a altos (>600 microsiemens/cm) persiste en su localización desde la zona al sur del casco urbano de Valledupar hasta el suroriente del corregimiento de Valencia de Jesús, en la cual históricamente se ha desarrollado (aunque con una ostensible reducción en la última década) los cultivos de algodón y de sorgo, que conllevan el uso de agroquímicos por aspersión aérea generalizada o en forma manual y localizada. El valor de la CE ubica a las aguas subterráneas de la zona de estudio bajo el límite máximo para consumo humano (1000 microsiemens/cm) salvo en la subzona mencionada.

En la Figura 5 se representa el pH (para el año 2004) y la Figura 6 (para el año 2015).

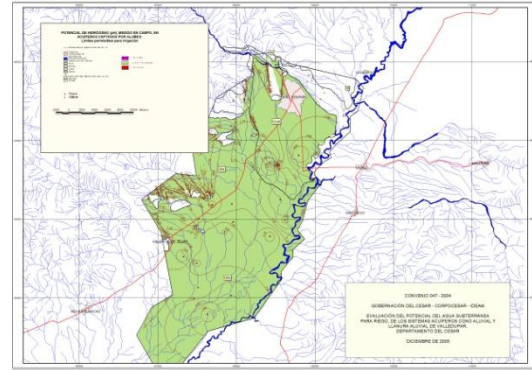


Figura 5. Potencial de hidrógeno del agua subterránea para el año 2004.
Fuente: Elaboración propia.

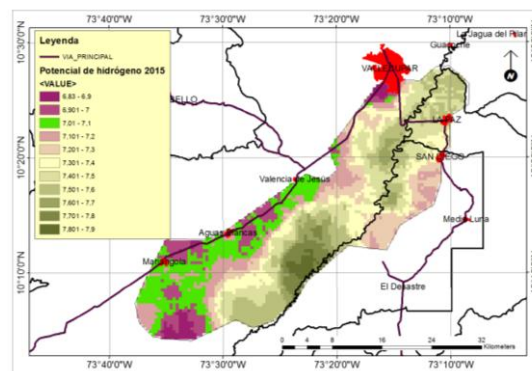


Figura 6. Potencial de hidrógeno del agua subterránea para el año 2015.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, el valor del pH del agua subterránea ha permanecido esencialmente dentro del mismo rango general de 6.8 a 7.9 (el rango para consumo humano es de 6.5 a 9), con algunas variaciones intrarregionales.

En cuanto al nivel estático del agua subterránea, es preciso tener en cuenta que la época de medición incide más decididamente en los valores que se detecten: en verano, el nivel o cota es menor (más lejana a la superficie), mientras que en época de lluvias el nivel o cota es más alto (esto es, más cercano a la superficie). Así, mientras en 2004 el rango de nivel estático estuvo entre 0,77 y 17,98 metros, para el año 2015, este se ubicó entre 0.89 y 21.14 metros para la zona de San Diego y 12 metros cerca de Valledupar. En la Figura 7

se ilustra la situación para 2015, destacándose que los menores niveles se encontraron en el municipio de San Diego de Las Flores, recordando que en este último año se tenían los efectos más agudos del fenómeno climatológico El Niño, que notablemente afectó el comportamiento del nivel del agua subterránea, al punto que varios de los aljibes inventariados se encontraron secos o con una lámina de agua de pocos centímetros.

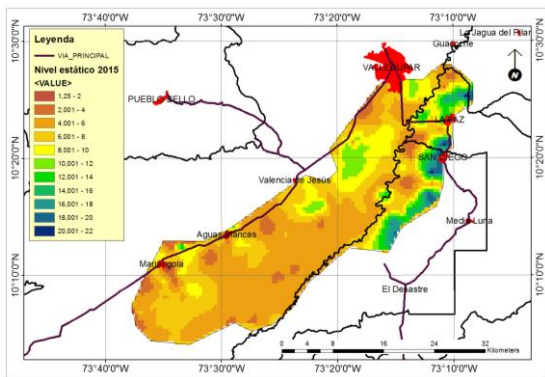


Figura 7. Nivel estático del agua subterránea, en la zona de estudio, año 2015. Fuente: Elaboración propia.

Al examinar el panorama del conjunto de datos, se encuentra que el modelo de flujo del agua subterránea para 2004, de noroccidente a suroriente en dirección al río Cesar - principal drenaje superficial de la zona norte del departamento - presenta variaciones para 2015, representadas por un menor gradiente de flujo hacia el río, para lo que se propone aquí como explicación que el bajo nivel del agua (mayoritariamente de 6 a 8 metros bajo la superficie) en la región se ubicó cerca o en ocasiones a la par, de la cota del agua en el lecho del río Cesar, que experimentó una reducción de caudal muy fuerte a lo largo del período 2014–2015. Esto es corroborado por el modelo de conductividad eléctrica del agua, que para 2015 presenta mayor uniformidad en los valores de esta variable (respecto a 2004), a excepción del núcleo de valores altos ya aludido (en general, el valor de la

conductividad eléctrica del agua subterránea aumenta en la dirección en que se mueve esta, debido a la disolución de minerales del suelo).

4. CONCLUSIONES

El inventario de puntos de agua subterránea que inicialmente era de 451 puntos, pasó a 485 puntos (advirtiendo que la zona de 2015 abarcó áreas adicionales a la de 2004).

Aunque de manera generalizada no hubo cambios significativos en la aptitud de uso del agua subterránea, al examinar en detalle se tiene que la conductividad eléctrica del agua subterránea, para la mayor parte de la zona estudiada tuvo una disminución cercana al 40% en promedio, al pasar de valores del orden de 500 microsiemens/cm (año 2004) a 300 microsiemens/cm en promedio (año 2015), estando por debajo del límite máximo para consumo humano (1000 microsiemens/cm).

Para la zona de mayores valores de conductividad eléctrica, al suroeste del corregimiento de Valencia de Jesús en dirección al río Cesar, se presentó una disminución estimada en un 40% para dichos valores máximos, al cambiar del orden de 3000 microsiemens/cm (en 2004) a 1800 microsiemens/cm (en 2015), estando en todo caso fuera del rango para consumo humano, y considerándose aguas de alta salinidad, que ameritan un tratamiento antes de ser usadas, con el fin de disminuir el grado de salinización del suelo.

La disminución generalizada de la conductividad eléctrica puede tener como una de sus explicaciones, el que se ha disminuido el área de cultivo de algodón y de sorgo, sobre los que se aplicó históricamente cantidades significativas de agroquímicos. Por otra parte, el pH del agua subterránea ha permanecido virtualmente sin

variación significativa entre los años 2004 y 2015.

No obstante, debe tenerse en cuenta el cambio periódico en la calidad del agua subterránea es función del régimen hidrológico de la zona, del uso del suelo, los métodos de extracción del recurso y del manejo ambiental a que el mismo es sometido por lo que, de manera ideal, puede ser necesario examinarla en intervalos de tiempo más cortos, evaluando los costos económicos en que hay que incurrir para ello.

El nivel del agua subterránea descendió de manera general, debido a la ocurrencia del fenómeno climatológico El Niño, lo cual provocó que varios puntos de aguas subterráneas se hubiesen secado. Por ello, el modelo de flujo, aunque persiste en su dirección hacia el río Cesar, eje central del valle del mismo nombre, lo hace con un gradiente menor.

5. FINANCIACIÓN

Se agradece a la Dirección General de la Corporación Autónoma Regional del Cesar que facilitó el apoyo logístico y a los funcionarios de la Subdirección General del Área de Gestión Ambiental, que participaron de manera directa en las labores de campo, tanto en 2004 como en 2015, durante la ejecución del proyecto Inventario de Captaciones del Recurso Hídrico - Agua Subterránea.

6. BIBLIOGRAFÍA

Angel, C; Hughett, A. (1995). *Evaluación del Agua Subterránea en el departamento del Cesar*. Ingeominas. Bogotá: Ingeominas.

Armenta, Jorge. (01 de Abril de 2009). *Corporación Autónoma Regional del Cesar*. Obtenido de <http://www.corpocesar.gov.co/subterranneas.html>

Cañas, H. y Armenta, J. (01 de Diciembre de 2007). *Corporación Autónoma Regional del Cesar*. Obtenido de <http://www.corpocesar.gov.co/subterranneas.html>

ESRI Educational Services. (2004). *Working ArcGIS Spatial Analyst*.

Heath, R.C. (1987). *Basic groundwater hydrology: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220*, 86 p. Denver: Library of Congress Cataloging-in-Publications Data.

IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá, D. C.: Panamericana Formas e Impresos S.A.

Kruseman, G.P., & de Ridder, N.A. (2000). *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Términos de Referencia para la elaboración del Estudio Ambiental de formulación (EAF) de los Macroproyectos de Interés Social Nacional y se adoptan otras disposiciones*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Ordoñez, J.J. (2012). *Aguas subterráneas-acuíferos*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.

Quintero, J.S. (1982). Análisis de Pruebas de Bombeo. Curso Internacional sobre Aprovechamiento de aguas Subterráneas. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física. Madrid: Pearson Educación.

Vélez, M.V. (1999). Hidráulica de Aguas Subterráneas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.