

## ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN EL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO

---

---

*Teresita Betancur V.*  
*Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental-GIGA, Facultad de Ingeniería.*  
*Universidad de Antioquia*  
*ptebv787@udea.edu.co*

Recibido para evaluación: 29 de Agosto de 2005 / Aceptación: 26 de Octubre de 2005 / Recibida versión final: 11 de Noviembre de 2005

### RESUMEN

Las aguas subterráneas en el Bajo Cauca antioqueño constituyen la principal fuente de abastecimiento del vital líquido para más de 200.000 habitantes de la región. Entre los años 2003 y 2005 se han realizado por parte de CORANTIOQUIA y de la Universidad de Antioquia una serie de estudios de exploración hidrogeológica a partir de los cuales se logra construir un modelo conceptual preliminar. Mediante la utilización de técnicas hidrogeoquímicas (incluida la isotopía) y de modelación numérica, se trabaja ahora en procura de validar el modelo existente.

**PALABRAS CLAVES:** Hidrogeología, Bajo Cauca, Modelo Hidrogeológico, Investigación Hidrogeológica.

### ABSTRACT

Groundwater on the Bajo Cauca is the main source of water for the people. CORANTIOQUIA and the Universidad de Antioquia have studied the hydrogeology model since the year 2003. Now the research is focus about geochemistry, environmental isotopes and groundwater modeling.

**KEY WORDS:** Hydrogeology, Bajo Cauca, Hydrogeological Model, Hydrogeological Research.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas se mueven en el interior de las formaciones litológicas o rocas, cuyo estudio geológico previo es fundamental para la adecuada comprensión de los problemas que se plantean en la fase posterior o de hidrología subterránea propiamente dicha. La escasez en unos casos y la alteración de las condiciones naturales de calidad de las aguas superficiales en otros, junto con el papel que ellas desempeñan en su compleja relación con algunos ecosistemas acuáticos, han convertido al georecurso aguas subterráneas en un recurso natural estratégico.

El Bajo Cauca Antioqueño es una región del departamento de Antioquia donde la explotación de aguas subterráneas se realiza sin ningún control desde hace varios años y hoy es indispensable conocer ese recurso con el fin de poder gestionar su sostenibilidad. De los más de 3.400 Km<sup>2</sup> de superficie con potencial hidrogeológico en esa región, hoy se cuenta con un modelo hidrogeológico conceptual preliminar para aproximadamente el 75% del área. Es fundamental concluir la exploración básica, acoplar un modelo regional y utilizar técnicas auxiliares para ajustar y validar el conocimiento logrado.

## 2. EL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO

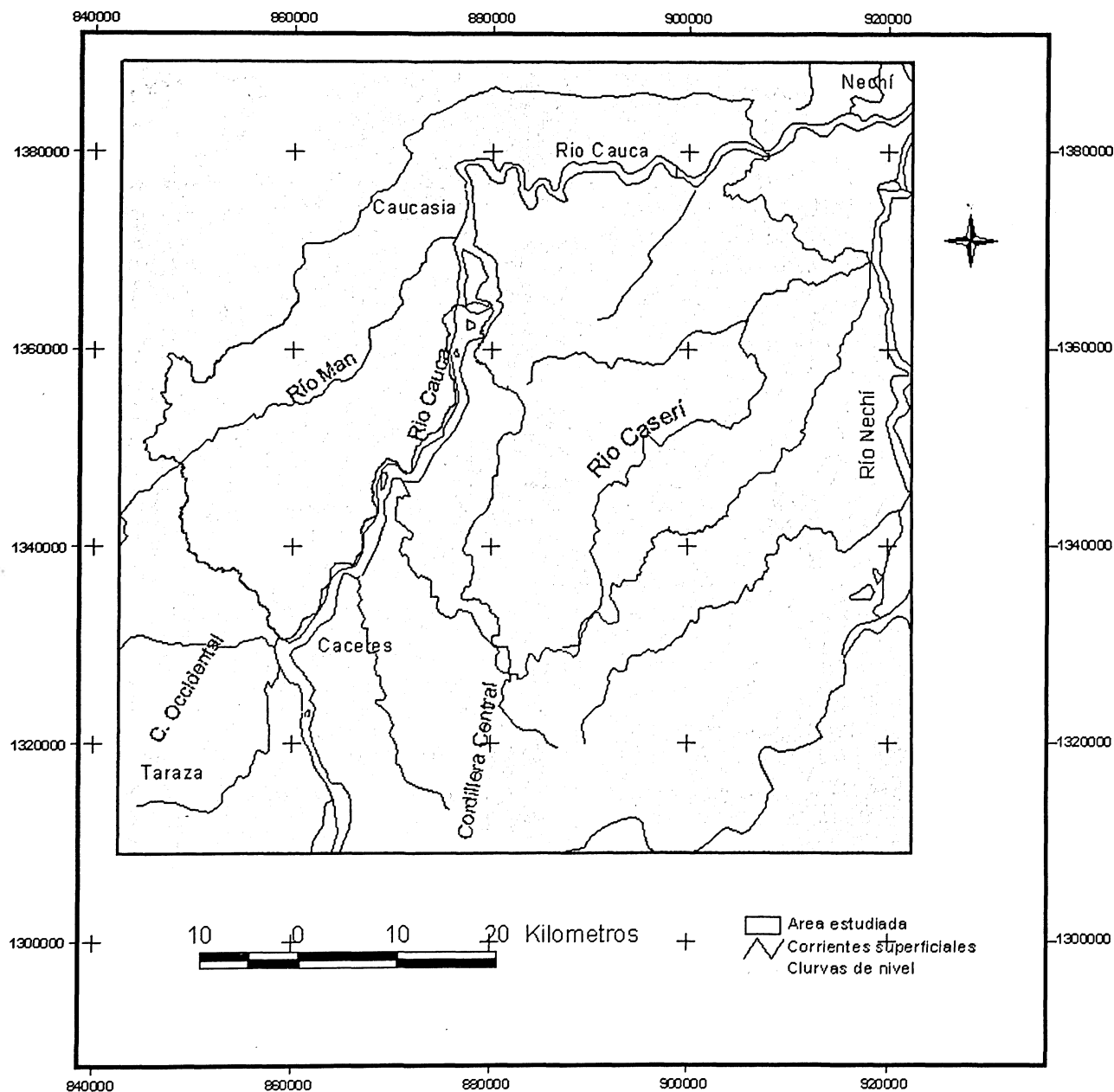
La región del Bajo Cauca Antioqueño (Figura 1), con una extensión de 8.485 km<sup>2</sup>, está localizada al noreste del departamento de Antioquia, está conformada por seis municipios ubicados entre las serranías de Ayapel, en la cordillera Occidental y San Lucas, en la cordillera Central, estos municipios son: Cáceres, Tarazá, Caucasia, Zaragoza, El Bagre y Nechí. El Bajo Cauca es una región rica y diversa social y culturalmente. Sus habitantes, más de 200.000, se distribuyen el 57% en la zona urbana y el 43% en áreas rurales.

La mayor parte del territorio se encuentra en alturas comprendidas entre los 30 y 1.000 m.s.n.m.. La planicie aluvial del territorio de Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, y Zaragoza, esta bañada por los ríos Man, Cauca 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. Sin lugar a dudas una de las principales riquezas naturales del Bajo Cauca la constituye este complejo sistema cenagoso en el que se desarrolla una compleja diversidad biológica.

Los ecosistemas bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo premontano caracterizan más del 80% de la región. Los municipios de Cáceres y Zaragoza hacen parte de la reserva natural Bajo Cauca-Nechí. Pequeñas porciones de los territorios del Bagre y Nechí se encuentran ubicados dentro de la reserva forestal del río Magdalena.

El Bajo Cauca es la puerta de entrada de Antioquia a la Costa Atlántica al encontrarse en límites con los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar. Caucasia ha sido históricamente el centro de servicios más importante en la región y establece comunicación con todos los demás municipios a través de la red vial conformada por la Troncal de la Paz y las vías Caucasia-Nechí y Zaragoza-Caucasia. Este municipio cuenta además con la red fluvial de los ríos Cauca y Nechí.

Desde el punto de vista económico, el Bajo Cauca se ha destacado por sus actividades auríferas y ganaderas; también se practican, a menor escala, la agricultura, la pesca y el comercio. La fiebre del oro, existente desde la época de la conquista se convirtió en una alternativa de desarrollo que no se supo aprovechar y que dejó a la zona en la extrema pobreza y en una situación ambiental crítica, aunque la Subregión sigue siendo el primer productor de oro del departamento. La ganadería que surgió como una alternativa económica, tiene una capacidad promedio de carga de 0,83 animales por hectárea, es una de las mejores del país, pero pocos son los que se benefician de ella. La agricultura es una actividad de subsistencia, con un carácter de autoconsumo realizada en pequeñas parcelas con cultivos de maíz, arroz, yuca y plátano; esta actividad se combina con la pesca y la minería. En algunas áreas se ha desarrollado una



**FIGURA 1.**  
Localización del Bajo Cauca Antioqueño y del área con exploración hidrogeológica

agricultura comercial, con cultivos de arroz y sorgo. Por último, gracias a la riqueza hídrica, la actividad pesquera es permanente y su producto se destina tanto al autoconsumo como al mercado, además buena parte de los habitantes derivan su sustento del trabajo como transportadores en lanchas.

Aún existiendo imponentes corrientes de agua superficial en el Bajo Cauca Antioqueño como los ríos Cauca, Man, Nechí y Caserí, las condiciones de abastecimiento del recurso para satisfacer la demanda para consumo humano son muy precarias. La Gobernación de Antioquia en su publicación Lineamientos de Política Departamental en Antioquia para el Agua (2005), revela datos acerca de la cobertura en el servicio de acueducto y acceso a agua potable en cada una

de las nueve subregiones del departamento (Tabla 1). Como puede verse, concretamente para las cabeceras municipales del Bajo Cauca la cobertura promedio es del 82.41 %, siendo el porcentaje más bajo de todas las subregiones y solo el 35.51% de la población urbana tiene acceso a agua potable. En el área rural, solo el 20.66% de los habitantes tienen acceso a agua potable.

Explotándose de manera no planificada, el agua subterránea se ha constituido en la principal fuente de abastecimiento para satisfacer las necesidades de recurso hídrico que el Estado no proporciona. Desde más de 2.000 captaciones (pozos y aljibes) se extraen diariamente más de 26 millones de metros cúbicos de agua almacenada en los acuíferos libres y confinado que existen en la región. Esta situación ha motivado la realización, por parte de CORANTIOQUIA y la Universidad de Antioquia (2003, 2004 y 2005), de varios estudios de exploración y de investigación hidrogeológica aplicada en la región.

**TABLA 1.**

Cobertura de acueducto y acceso a agua potable en el departamento de Antioquia.

| <b>CABECERAS MUNICIPALES</b> |                         |                           |                            |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>Subregion</b>             | <b>Total Habitantes</b> | <b>Cobertura</b>          | <b>Acceso Agua Potable</b> |
| Valle De Aburra              | 2.974.415               | 98.76                     | 98.76                      |
| Bajo Cauca                   | 135.535                 | 82.41                     | 35.51                      |
| Magdalena Medio              | 54.605                  | 92.05                     | 54.15                      |
| Nordeste                     | 94.179                  | 85.48                     | 0.00                       |
| Norte                        | 64.848                  | 96.83                     | 13.47                      |
| Occidente                    | 69.640                  | 96.44                     | 16.74                      |
| Oriente                      | 271.277                 | 98.17                     | 30.31                      |
| Suroeste                     | 165.020                 | 97.30                     | 23.41                      |
| Uraba                        | 244.403                 | 74.89                     | 24.07                      |
| <b>ZONA RURAL</b>            |                         |                           |                            |
| <b>Subregion</b>             | <b>Total Habitantes</b> | <b>Población Atendida</b> | <b>Acceso Agua Potable</b> |
| Valle De Aburra              | 186.320                 | 151.716                   | 81.43                      |
| Bajo Cauca                   | 89.304                  | 18.453                    | 20.66                      |
| Magdalena Medio              | 38.869                  | 15.143                    | 38.96                      |
| Nordeste                     | 85.760                  | 26.160                    | 29.86                      |
| Norte                        | 156.382                 | 51.119                    | 32.56                      |
| Occidente                    | 158.594                 | 70.103                    | 44.20                      |
| Oriente                      | 325.639                 | 145.667                   | 44.73                      |
| Suroeste                     | 233.836                 | 94.264                    | 40.31                      |
| Urabá                        | 229.603                 | 28.560                    | 12.44                      |

### 3. LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA.

La investigación hidrogeológica básica se realiza mediante la aplicación de técnicas convencionales que permiten determinar las condiciones geométricas e hidráulicas de un acuífero, es decir, un modelo conceptual del sistema. Hoy se pone al orden del día la necesidad de implementar técnicas auxiliares avanzadas para verificar y validar los modelos conceptuales, para aproximarse a una cuantificación y medición de la recarga, para desarrollar nuevas herramientas cuantitativas de evaluación de vulnerabilidad y riesgo, y para implementar modelos numéricos que integren la complejas dinámicas físicas que condicionan la presencia y flujo de aguas subterráneas. (Ver Figura 2)

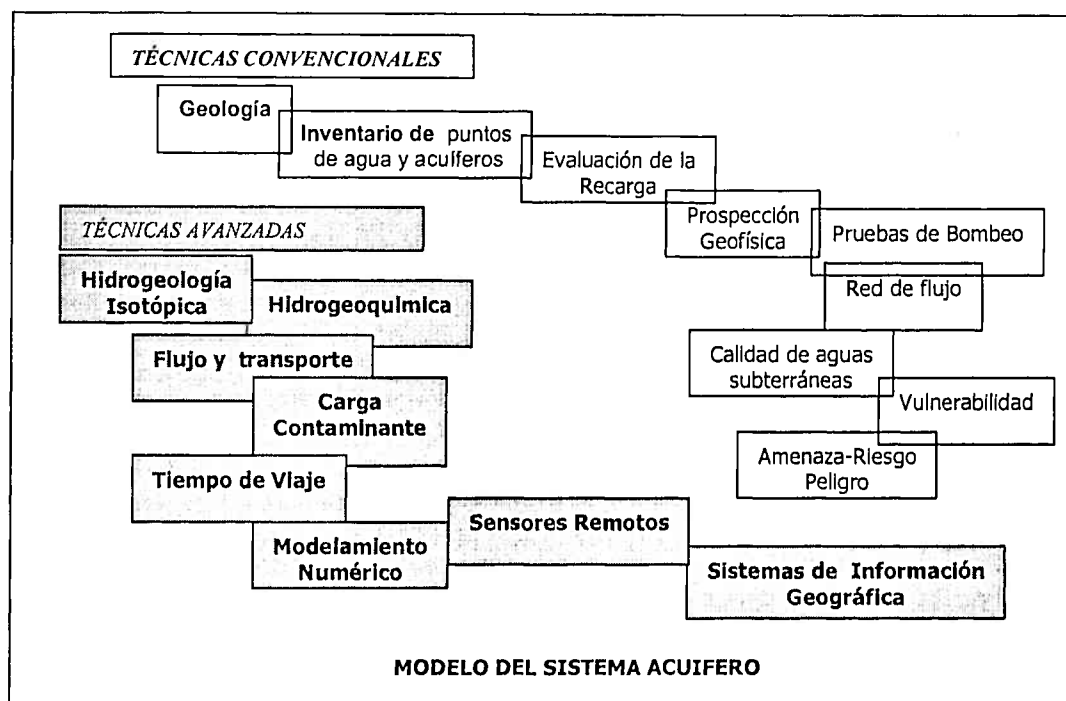


FIGURA 2.

Métodos de investigación en hidrogeológica

Todo proyecto de exploración hidrogeológica parte de una **evaluación geológica** mediante la cual se identifican las unidades estratigráficas con mayor potencialidad acuífera, ya que se tiene claramente establecido que los principales acuíferos se asocian a rocas y depósitos sedimentarios que registran una porosidad primaria importante, y que en ocasiones las rocas cristalinas fisuradas pueden también constituir importantes reservorios. Mediante un **inventario** de pozos, aljibes y manantiales se busca recopilar información estratigráfica directa del subsuelo de manera que se logre tener una primera aproximación acerca de las dimensiones superficiales y en profundidad de un acuífero, posteriormente con la **prospección geoelectrónica** se busca, realizando sondeos indirectos, reconstruir la estratigrafía en zonas con vacíos de información. La primera y principal, aunque no la única, fuente de agua para los acuíferos la constituye la infiltración a partir de la precipitación, la metodología más generalizada de **estimación de la recarga** ha sido la del balance hídrico. Es también fundamental dentro de una exploración hidrogeológica preliminar realizar los procedimientos que permitan **cuantificar los parámetros hidráulicos** del acuífero, tales como conductividad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, y **definir las direcciones de flujo** del agua subterránea, con estos fines se practican regularmente pruebas de bombeo y monitoreo piezométrico. Dada la creciente demanda de aguas subterráneas para satisfacer diferentes tipos de necesidades del hombre y teniendo en cuenta la latente probabilidad de que esas aguas puedan llegar a ser afectadas en sus propiedades naturales, se hace necesario el análisis de calidad y la **evaluación de vulnerabilidad, amenaza y riesgo** de contaminación.

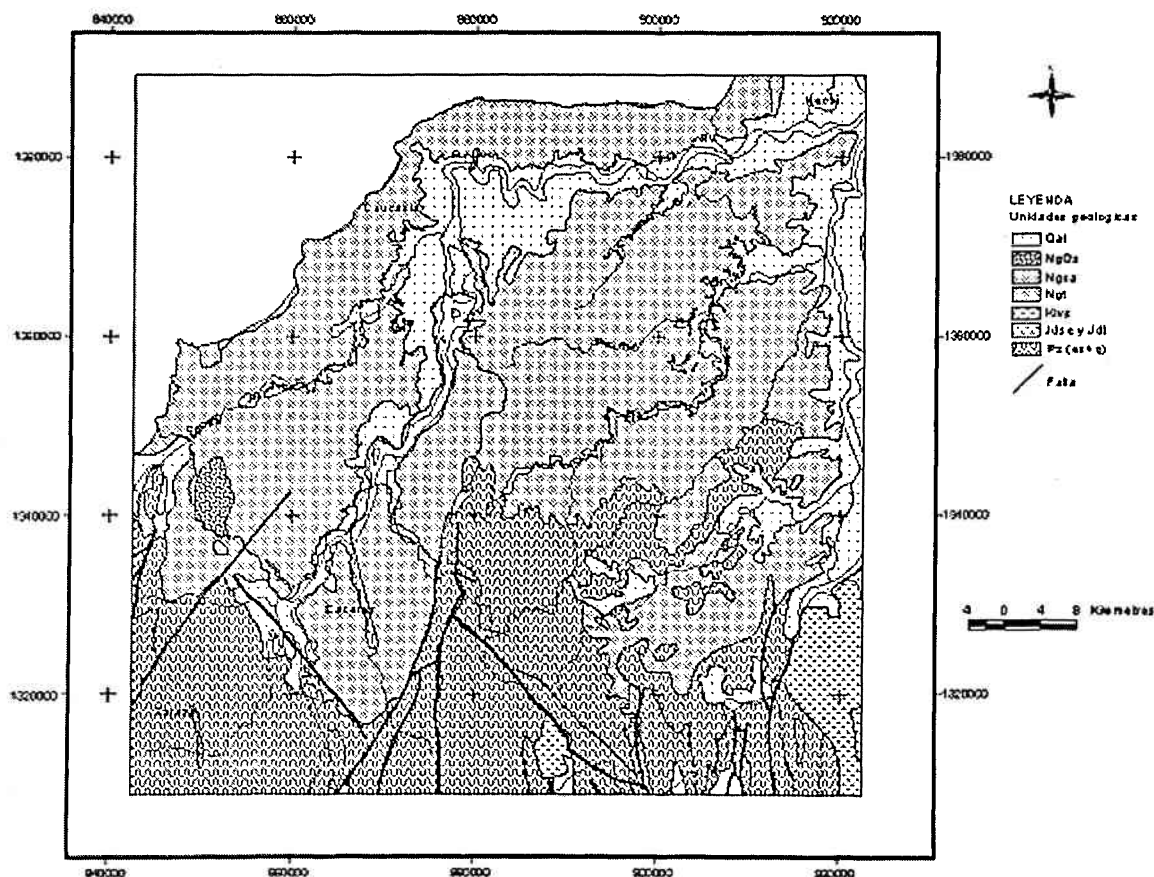
Los avances en las técnicas de **telecomunicación, la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica** que permiten manipular, almacenar y analizar grandes volúmenes de información han propiciado importantes contribuciones al avance de las ciencias de la tierra y entre ellas a la hidrogeología. El estudio de las condiciones de movimiento y transporte de solutos desde la superficie de la tierra, a través del suelo y de la zona no saturada hasta el agua subterránea, permiten el mejor entendimiento de los **procesos de flujo y transporte** de contaminantes y la determinación del **tiempo de viaje** de estos hasta alcanzar concentraciones significativas dentro de un acuífero. A partir de la década de los 90 se empezó a implementar en el mundo la evaluación de **trazadores ambientales** como método para refinar y verificar los modelos conceptuales acuíferos obtenidos a partir de exploración hidrogeología básica, estas técnicas se basan en el hecho de que la composición química del agua almacenada en un acuífero está relacionada con las condiciones atmosféricas

de donde proviene y con las condiciones del medio sólido a través del cual ha circulado y donde se ha almacenado. Los **isótopos** estables del agua ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ) constituyen trazadores del origen de la precipitación que ocasionó la recarga y el  $^{14}\text{C}$  y  $^3\text{H}$  dan idea acerca del tiempo que un agua lleva almacenada en un acuífero. De otro lado la composición iónica del agua (**hidrogeoquímica**) ayuda a la validación de modelos conceptuales al permitir, mediante el análisis de evolución de la composición química del líquido, correlacionar diferentes unidades hidroestratigráficas. Finalmente, desde el momento en que se tiene el primer modelo conceptual, a lo largo del tiempo durante el cual se logre adquirir más información, hasta cuando se tiene un modelo conceptual refinado y verificado, la **modelación numérica** de flujo y transporte de contaminantes en aguas subterráneas, constituye una herramienta de gestión y apoyo a la toma de decisiones en pro del adecuado manejo y explotación del recurso hídrico subterráneo.

## 4. HIDROGEOLOGÍA DEL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO

### 4.1. Geología

De acuerdo con los mapas geológicos de Antioquia (1997) a escala 1:400.000 y de Córdoba (2001) a escala 1:250.000, las rocas que afloran en este sector corresponden a un basamento de rocas ígneas y metamórficas sobre las cuales reposan rocas y depósitos sedimentarios de edades Terciario y Cuaternario (ver Figura 3). Contribuciones al entendimiento de la geología de esta zona han sido hechos por Cossio y Zapata (1992) en el trabajo Características Geológicas de la plancha 93/Cáceres. Además los estudios de evaluación hidrogeológica realizados por CORANTIOQUIA y la Universidad de Antioquia (2003, 2004 Y 2005) proporcionan nuevas interpretaciones. A partir de la información consignada en estos documentos, se esboza la siguiente geología regional.



**FIGURA 3.**

Geología del Bajo Cauca Antioqueño (Adaptado de INGEOMINAS. 1997 y CORANTIOQUIA- Universidad de Antioquia, 2003, 2004 y 2005.)

**Rocas ígneas.** El Batolito Jurásico de Segovia (Jdse) es el principal cuerpo ígneo regional, es un cuerpo fundamentalmente diorítico que aflora al este de la zona de estudio. Cuerpos intrusivos sintectónicos de menor extensión se localizan hacia el sur.

**Rocas metamórficas.** Las rocas metamórficas del norte de Antioquia están representadas por el Complejo Puquí y el Complejo Cajamarca. El Complejo Puquí aflora hacia el occidente, está conformado por un conjunto de metatonalita (P mtp), anfibolitas (P ap), neises y granulitas (P np); su edad es considerada del Proterozoico o Paleozoico inferior. Los Grupos Cajamarca, Ayura-Montebello y Valdivia agrupan al hoy denominado Complejo Cajamarca, límite sur de las cuencas sedimentarias del Bajo Cauca, Caserí, Man y Nechí y unidad encajante de la Formación Cerritos. Las Rocas allí presentes están formadas por unidades de esquistos cuarzo grafitosos y esquistos verdes (Pzce), neises cuarzosos (Pzcn); también se reconocen esquistos cuarzoserisíticos (Pzes) y neises cuarzo feldespáticos (Pzmf); su edad sería del Paleozoico aunque hipótesis de aloctonismo y autoctonismo imponen una discusión al respecto.

**Rocas sedimentarias.** Las rocas sedimentarias presentes al norte de Antioquia fueron clasificadas (INGEOMINAS, 1997) como la Formación Caucasia (Ngca), al noroccidente de Antioquia desde la margen izquierda del río Man, y hacia la margen derecha del río Cauca, y como Formación Tarazá (Ngt), entre la sección media de la quebrada Tamaná y hasta la Falla El Doce y entre los ríos Man y Cauca desde la quebrada Urales, ambas formaciones pertenecen al Neógeno. Cossio y Zapata, 1992, en la geología de la plancha 93, redefine estos cuerpos de roca sedimentaria y los correlaciona con la Formaciones Cerritos y con el Grupo Sincelejo. CORANTIOQUIA y la Universidad de Antioquia (2004) identifican la presencia de los tres miembros de la Formación Cerritos en el Bajo Cauca y redefinen sus límites con las rocas metamórficas y los depósitos aluviales .

La Formación Cerritos (Ngmpc) está representada por una secuencia de arcillolitas con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino, de color amarillo. Las arcillolitas abigarradas de colores variables, rojizos, amarillos, pardos y grises, con intercalaciones de mantos de carbón de poco espesor. La Formación Cerritos está dividida en tres miembros. Miembro Superior, areno-arcilloso, con niveles de arenitas calcáreas fosilíferas, con algunos mantos de carbón, y espesor de 300m. Miembro Medio, principalmente limo-arcillosos con capas de arenitas calcáreas fosilíferas hacia la parte media, presenta 54 mantos de carbón y espesor de 850 m. El Miembro Inferior, conformado por areniscas, conglomerados y calizas, se caracteriza por la ausencia de mantos de carbón y posee un espesor de 400 m. El ambiente de formación de la Formación Cerrito, según sus características litológicas es de marino somero a continental, con predominio del ambiente continental, evidenciado por la presencia de mantos de carbón.

El Grupo Sincelejo agrupa la secuencia de rocas continentales que afloran en los departamentos de Córdoba y Sucre. Los cambios faciales rápidos que presenta esta secuencia, la hacen divisible en tres unidades: Sincelejo, Morroa y Betulia.

**Depósitos del Cuaternario.** Regionalmente los depósitos aluviales de mayor importancia corresponden a las llanuras aluviales de los ríos Cauca, Nechí y Man; 6 niveles de terrazas asociados al río Cauca, y 3 niveles de terrazas asociados tanto al río Nechí como al río Man.

**Tectónica Regional.** A escala regional se presentan las siguientes estructuras geológicas:

Falla del Río Tarazá: Con dirección N10 -20 E toma su nombre del río Tarazá, pone en contacto las anfibolitas del río Tarazá con las rocas del complejo Puquí. Esta falla controla el flanco oriental del sinclinal de Tarazá, desaparece hacia el norte, y mantiene la expresión topográfica por un trayecto de 10 Km, sobre los sedimentos de la Formación Sincelejo. Falla quebrada Urales: Se encuentra al sur-occidente del área de estudio, de acuerdo con Zapata y Cossio (1992); pone en contacto las anfibolitas del río Tarazá con las rocas del complejo Puquí. Se prolonga hacia el norte y se truca con la falla Cauca-Almaguer. Su dirección es N10 E, y aunque tiene las características de una falla de rumbo, la dirección del desplazamiento no se conoce con certeza, pero una pequeña falla en la quebrada Noa indicaría un desplazamiento lateral izquierdo, con el bloque oriental levantado.

**Falla Espíritu Santo:** Esta falla tiene un rumbo de N30 -50 E y pone en contacto los sedimentos terciarios con las rocas del Complejo Cajamarca. Esta falla denominada inicialmente como falla de Romeral se nombro posteriormente como falla Espíritu Santo; toma su nombre del río del mismo nombre en cercanías de Puerto Valdivia (Antioquia). Al parecer es una falla normal activa con un ángulo de buzamiento alto al occidente, con un bloque oriental levantado y desplazamiento lateral izquierdo.

**Sinclinal Tarazá y Sur de Córdoba:** Es asimétrico, con el flanco occidental de buzamientos suaves (entre 5 y 15 ) y el flanco oriental con buzamientos hasta de 25 , afectado por la falla del río Tarazá. Su eje presenta orientación N10 E y está conformado hacia el núcleo por los sedimentos arcillosos de la Formación Sincelejo y en los flancos las sedimentitas de la Formación Cerritos.

#### **4.2. Inventario de puntos de agua**

Mediante trabajo directo en campo en la región del Bajo Cauca Antioqueño se han inventariado a la fecha 1.927 puntos de agua, 1837 aljibes, 70 pozos y 20 manantiales, es importante señalar sin embargo que el numero de captaciones en la zona explorada duplica esta cifra. En la región el agua subterránea se usa para consumo doméstico, abastecimiento público, en la ganadería y para riego y se estima que la cantidad de agua extraída anualmente es del orden de 26 millones de metros cúbicos.

De los 70 pozos inventariados sólo 30 cuentan con columna estratigráfica obtenida al momento de la perforación, y de ellas únicamente cinco han sido descritas cuidadosamente por profesionales de la geología, las demás fueron levantadas por los técnicos que realizaron las actividades de perforación.

Las actividades del inventario permitieron también realizar la nivelación para épocas de invierno y verano, a partir de las cuales se obtuvieron luego las superficies freática y piezométrica de los acuíferos y se identificaron de manera preliminar las direcciones de flujo del agua subterránea.

#### **4.3. Prospección Geoeléctrica y Unidades Hidrogeológicas**

Con la realización de casi 100 sondeos eléctricos verticales, mediante su correlación con algunas columnas estratigráficas y la posterior interpretación se logró obtener un modelo estratigráfico regional a partir del cual se definieron las unidades hidrogeológicas del Bajo Cauca Antioqueño. Para la modelación de la geometría del sistema acuífero, que comprende profundidades y espesores de cada unidad, se utilizaron las herramientas de análisis espacial que posee el ArcGIS, software para manejo de Sistemas de Información Geográfica, SIG. En la Figura 4 se presenta el mapa hidrogeológico obtenido. Las unidades hidrogeológicas adoptadas fueron:

**Unidad hidrogeológica U1:** Conformada por un horizonte de arcilla y suelo que se extiende a través de toda la zona presenta espesores entre 2 y 9 metros.

**Unidad hidrogeológica U2:** En ella se conjugan los depósitos aluviales pertenecientes a las llanuras aluviales de los ríos Cauca, Caserí y Man, de sus principales afluentes y las terrazas aluviales. U2 tiene espesores entre 20 y 90 m, los sitios más potentes se localizan hacia el caso urbano de Caucasia, en la localidad de Jardín y cerca de las confluencias de los ríos Man y Cauca y de los ríos Caserí y Nechí. Esta unidad constituye un acuífero libre; su extensión es de 450 km<sup>2</sup>, tendría un volumen de 15.739 millones de m<sup>3</sup>.



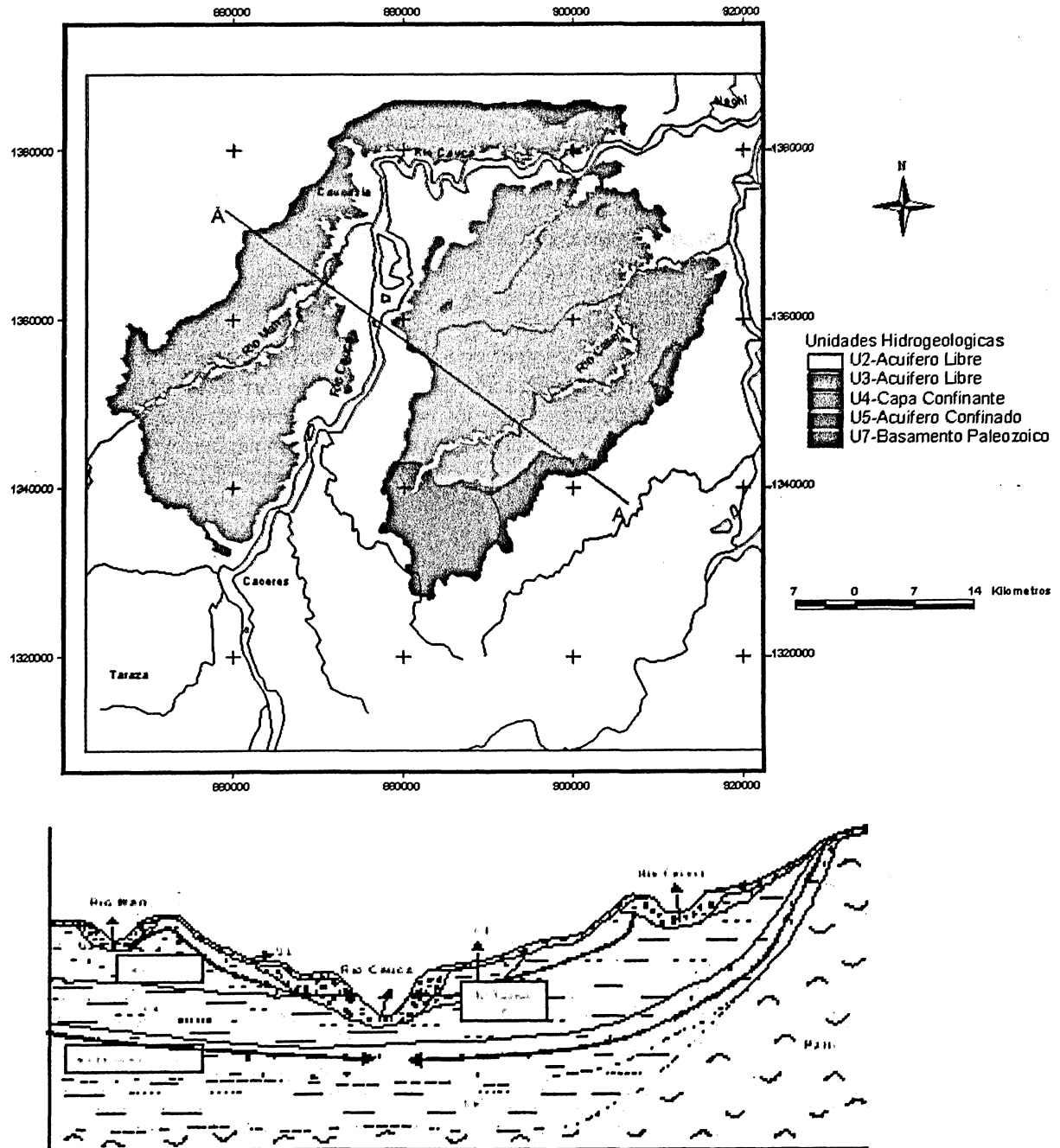


FIGURA 4.  
Mapa hidrogeológico preliminar y parcial del Bajo Cauca Antioqueño y corte interpretativo.

**Unidad hidrogeológica U3:** Constituida por saprolitos no consolidados del Miembro Superior de la Formación Cerrito, se comporta como un acuífero libre donde aflora en superficie y como un acuífero semiconfinado cuando se encuentra por debajo de los depósitos aluviales de U2. U3 tiene espesores de 60 m al occidente en Santa Rosita y de 115 m hacia Alcalá y Kilómetro 18, cerca al Cauca disminuye su espesor y puntualmente se pincha contra U2. Tiene una extensión de 1.600 km<sup>2</sup> y su volumen sería de unos 30.879 millones de m<sup>3</sup>.

**Unidad hidrogeológica U4:** Subyace a las unidades U2 o U3. Esta constituida por el Terciario del Miembro Medio de la Formación Cerrito, su extensión donde aflora es de 70 km<sup>2</sup>, es una unidad confinante

**Unidad hidrogeológica U5:** Correspondiente al Miembro Inferior de la Formación Cerrito, se comporta regionalmente como un acuífero confinado con zonas de recarga hacia el norte del área de estudio, y hacia las partes altas de las cuencas de los ríos Man y Caserí, su espesor no ha sido determinado.

Por debajo de U5, al norte, existirían antiguas secuencias de rocas sedimentarias, U6, y al sur se localizaría el basamento formado por rocas metamórficas fisuradas de edad Paleozoica.

#### 4.4. Estimación de la Recarga

En general, la recarga puede definirse como el proceso por el cual un acuífero se abastece de agua procedente del entorno que lo limita; dicha agua puede provenir de la infiltración de agua lluvia, de corrientes superficiales, de unidades hidrogeológicas adyacentes o de acciones antrópicas. Entre los métodos existentes para evaluar la recarga, el más ampliamente utilizado es el método indirecto de balance hídrico que pretende determinar la recarga potencial directa, es decir determina los aportes provenientes del agua lluvia que se infiltra a través de la superficie del terreno. Estimar la recarga real requerirá información continua sobre la variación temporal de los niveles piezométricos de los acuíferos. En la región del Bajo Cauca se practicaron balances hídricos tendientes a la estimación de la recarga potencial directa a los acuíferos mediante la formulación y cálculo de sus componentes a nivel mensual, para ello se utilizó la información hidrometeorológica adquirida en el IDEAM y se tuvieron en cuenta las propiedades texturales de los suelos para determinar valores de capacidad de campo y punto de marchitez. Una descripción detallada del procedimiento y las herramientas de modelación utilizadas para el cálculo de la recarga puede consultarse en los estudios de exploración realizados por CORANTIOQUIA y la Universidad de Antioquia en el Bajo Cauca (2.003, 2.004 y 2.005).

Para periodos hidrológicos medios la recarga presenta un gradiente ascendente en dirección sureste, con valores que varían entre 300 y 1800 mm/año, además los mayores valores se presentan sobre la asociación de suelo Cáceres y los mas bajos sobre Samán. Este gradiente corresponde con el gradiente de precipitación. En promedio para toda la zona, la recarga potencial constituye cerca del 30% de la precipitación. Con el mismo sentido de gradiente, para escenarios hidrológicos de año húmedo, los valores de recarga anual varían entre 500 y 3000 mm/año. En el año seco el gradiente se da en sentido este oeste alcanzando valores de 1.800 mm/año.

#### 4.5. Determinación de Parámetros Hidráulicos

Las condiciones teóricas para la realización de pruebas de bombeo son prácticamente imposibles de lograr en la práctica, casi nunca se cuenta con pozos de observación, rara vez se tiene un diseño del pozo y las condiciones de operación de las captaciones, en las que las bombas no alcanzan a bombear caudales superiores a 2,0 l/seg, no permiten el prolongar los periodos de bombeo mas allá del tiempo en el que se logra la estabilización del nivel dinámico. Sorteando en lo posible todas las limitaciones prácticas de la realización de estas pruebas que buscan determinar las propiedades hidráulicas de los acuíferos, para la región explorada hidrogeológicamente en el Bajo Cauca se cuenta con 34 pruebas en las que combinando interpretación de registros de abatimiento y recuperación se lograron determinar condiciones de transmisividad y conductividad hidráulica y puntualmente coeficientes de almacenamiento. La unidad acuífera U2, registró valores de conductividad máximos de 2 m/día, ocurriendo los valores más frecuentes entre 0.01 m/día y 0.5 m/día. Teóricamente se espera que para depósitos aluviales con un porcentaje importante de arenas los valores de conductividad superen los 10 m/día. En U3 el valor de esta variable oscilaría entre 3.2 y 10 m/día y el promedio de las dos pruebas realizadas sobre captaciones que tomarían agua de U5 reporta valores del orden de 1,0 m/día. Las pruebas realizadas durante la perforación de tres pozos en el casco urbano de Caucasia los cuales captarían simultáneamente las unidades U2 y U5 reportan conductividades de hasta 51,0 m/día. Los coeficientes de almacenamiento obtenidos sólo en cuatro captaciones arrojaron valores del orden de 0,2 para U2 y U3 y 0,0004 para U5.

#### **4.6. Flujo de Aguas Subterráneas**

La información recopilada durante el inventario de puntos de agua y un posterior monitoreo de niveles freáticos y piezométricos en algunos puntos cuidadosamente seleccionados permitió modelar las superficies piezométricas para periodos de invierno y verano. En términos generales en los dos periodos analizados el patrón de flujo de las aguas subterráneas es el mismo.

Además del hecho de que las aguas subterráneas fluyen por lo general desde los sitios topográficos más altos hacia los más bajos, vale la pena señalar dos observaciones interesantes. En primer lugar en algunos sitios se insinúa la presencia de divisorias de aguas subterráneas, concretamente hacia la margen izquierda del río Cauca y paralelo a su curso asociado a los niveles de terrazas aluviales y hacia la margen derecha, coincidiendo con la divisora norte de la cuenca del río Caserí. De otro lado cerca de puerto Bélgica y a la desembocadura del río Man en el Cauca, las aguas de esta corriente parecen estar recargando el acuífero libre.

#### **4.7. Calidad de las Aguas Subterráneas**

El análisis de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos para casi 90 captaciones de la zona de estudio, permitieron obtener una visión puntual de las condiciones de calidad de las aguas subterráneas de las unidades hidrogeológicas U2 y U3. Mas del 90% de las captaciones registran presencia de coliformes, es frecuente la presencia de nitritos y puntualmente se detectó la presencia de mercurio. Valores de DQO y de hierro por encima de los admisibles en aguas para consumo humano se detectaron en aproximadamente el 5% de las captaciones muestreadas.

#### **4.8. Vulnerabilidad de los Acuíferos**

La determinación de la susceptibilidad de sistema acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante se determinó a partir de las propiedades intrínsecas del medio utilizando y comparando los resultados de las metodologías GOD y DRASTIC, obteniéndose resultados similares, según los cuales la vulnerabilidad oscila entre media y baja.

### **5. PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN EL BAJO CAUCA**

Los estudios de exploración hidrogeología en el Bajo Cauca Antioqueño realizados a la fecha, han puesto en evidencia que más allá de la necesidad de abastecimiento de agua a la comunidad, existen importantes reservas de agua subterránea en la región. No obstante la gran magnitud de los esfuerzos el modelo hidrogeológico obtenido es un modelo preliminar dado que se ha construido fundamentalmente a partir de técnicas de exploración indirectas confrontados con muy pocos datos de perforaciones que permitan una observación directa de la naturaleza del subsuelo, además falta aproximadamente de 25% del área con potencial hidrogeológico por evaluar.

Está al orden del día completar la serie de evaluaciones locales y acoplar un primer modelo hidrogeológico regional. La utilización de otras técnicas geofísicas adicionales a la geoeléctrica, tales como la magnetometría o la sísmica podrían ayudar a precisar la posición del basamento. Y la realización de una perforación exploratoria de al menos 300 metros de profundidad proporcionaría importantes elementos de validación y correlación.

Las investigaciones en curso están encaminadas a ajustar y en lo posible validar el modelo conceptual existente, para ello se están realizando análisis mediante técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas las cuales se espera pongan en evidencia nuevos aspectos del sistema acuífero relacionados con las condiciones de circulación y tiempo de residencia de las aguas subterráneas.

La utilización continua de técnicas de modelación numérica permitiría realizar sucesivos ajustes al modelo conceptual, verificarlo y utilizarlo cada vez con menor incertidumbre como herramienta de simulación con fines predictivos y propósitos de gestión del recurso hídrico subterráneo.

La integración de técnicas hidrogeológicas con la interpretación de la información obtenida a partir de sensores remotos y la utilización de herramientas de modelación espacial ayudaría a investigar y entender complejos procesos como los de la recarga y la relación aguas subterráneas, corrientes superficiales y complejo de humedales en el Bajo Cauca.

Por último, es indispensable desde ya empezar a establecer los lineamientos para la gestión integral del recurso hídrico en el Bajo Cauca.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

La autora de este artículo expresa sus agradecimientos a CORANTIOQUIA, por la confianza que ha depositado en el equipo de profesionales de la Universidad de Antioquia para la realización de los estudios de exploración hidrogeológica en el Bajo Cauca, igualmente a todos los integrantes de los grupos de trabajo que han participado en los tres proyectos concluidos a la fecha.

## **7. BIBLIOGRAFIA**

CORANTIOQUIA – UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2003. Evaluación hidrogeológica entre Cauca y Cáceres.

CORANTIOQUIA – UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2004. Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos al norte de Cauca.

CORANTIOQUIA – UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2005. Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos en la cuenca del río Caserí

Cossio y Zapata, 1992. Características Geológicas de la plancha 93/Cáceres.

GOBERNACION DE ANTIOQUIA-CATEDRA DEL AGUA, 2005. Lineamientos de política departamental en Antioquia para el agua.

INGEOMINAS, 1997. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia, escala 1:400.000

INGEOMINAS, 2001. Mapa Geológico del Departamento de Córdoba, escala 1:250.000