

# Uso de métodos geofísicos e isotópicos en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual para los acuíferos de Pereira y Dosquebradas, Colombia

**Doris Liliana Otálvaro<sup>1</sup>;**  
**Gabriel Fernando Arias;**  
**María Eugenia Veléz**

A partir de la integración de los métodos geofísicos, registros eléctricos de pozos, datos de aljibes e información litológica, se definieron tres niveles para el acuífero de Pereira y se estableció la profundidad del basamento encontrando un espesor máximo de 750 m en el sector del Agrado. Mediante la aplicación de técnicas isotópicas se definió que la recarga de este acuífero ocurre principalmente por infiltración directa al nivel de su afloramiento (por debajo de los 1500 msnm). Con estos resultados, la Corporación Autónoma Regional de Risaralda definió lineamientos especiales de protección para la zona estudiada.

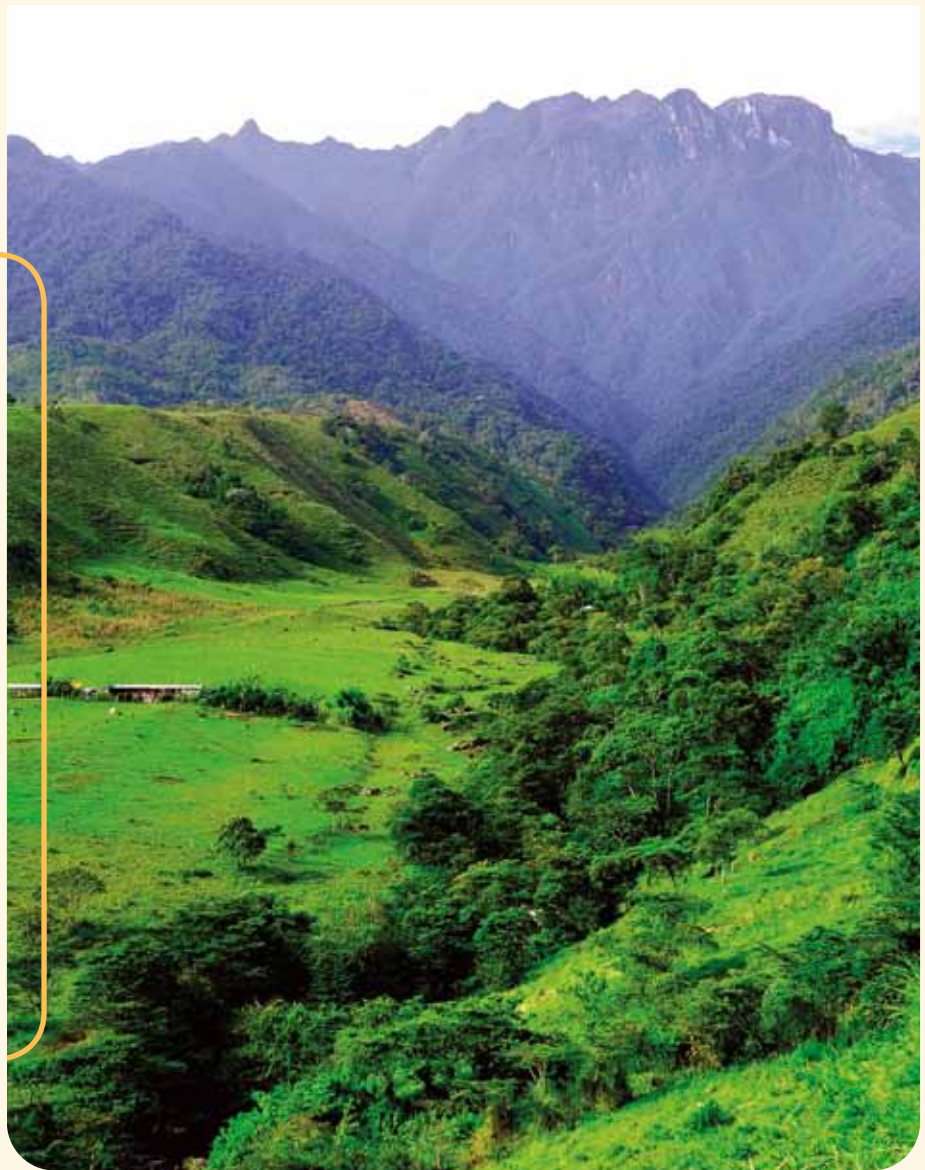


Foto: CARDER.

<sup>1</sup> Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER. Avenida de Las Américas – Calle 46, teléfono (57) 6 3116511, Pereira – Colombia. [www.carder.gov.co](http://www.carder.gov.co)

## Resumen

Mediante técnicas no convencionales de investigación hidrogeológica, como la hidrología isotópica, y una gama de métodos geofísicos y estudios interdisciplinarios realizados en los acuíferos de Pereira y Dosquebradas, Colombia, se logró identificar rasgos particulares de los acuíferos, como la variación de la geometría y la delimitación de la zona de recarga. Estos descubrimientos han permitido enfocar las acciones de la CARDER hacia el uso sostenible y la protección efectiva del recurso hídrico subterráneo, en términos de calidad y cantidad.

**Palabras claves:** Métodos; geofísica; isótopos; hidrogeología; modelos de simulación; recursos hídricos; Pereira; Dosquebradas; Colombia

## Summary

**Geophysical and isotopic methods for the development of a hydro-geological model in Pereira and Dosquebradas aquifers, Colombia.** By means of non-conventional hydro-geological research techniques, such as isotope hydrology, and a series of geophysical methods and interdisciplinary studies conducted in Pereira and Dosquebradas aquifers, Colombia, particular features of the aquifers were identified. Findings such as the variation of geometry and the delimitation of the recharge zone have helped CARDER to focus its actions towards sustainable use and effective protection of subterranean water resources in terms of quality and quantity.

**Keywords:** Methods; geophysics; isotopes; hydrogeology; simulation models; water resources; Pereira; Dosquebradas; Colombia.

## Introducción

La Corporación Autónoma Regional de Risaralda (Carder) tiene como misión contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de la población mediante la conservación y recuperación del medio ambiente. En el 2007, Carder formuló el Plan de Manejo Integrado del Agua Subterránea en la región, como resultado de su participación en un convenio internacional firmado entre el Gobierno Colombiano y el Organismo Internacional de Energía Atómica (2001-2005); posteriormente la Corporación suscribió un convenio administrativo con la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá (2006-2007). Mediante estos convenios se aplicaron técnicas no convencionales, que incluyeron estudios geofísicos (geoeléctrica, gravimetría, magnetometría y sísmica) y de hidrología isotópica, (isóto-

pos estables  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  y radiactivos  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  y  $^3\text{H}$ ) de agua de lluvia, superficial y subterránea, con el fin de refinar el modelo hidrogeológico conceptual y desarrollar herramientas apropiadas para diseñar estrategias de gestión y de protección de estos recursos.

En los municipios de Pereira y Dosquebradas (Risaralda, Colombia), las aguas subterráneas no son la fuente principal de abastecimiento; sin embargo, para algunos sectores rurales, suburbanos y de expansión urbana, estos recursos hídricos son esenciales para usos domésticos, agrícolas, pecuarios e industriales. De hecho, dos acueductos rurales (Puerto Caldas y Cerritos, al occidente de Pereira) son aprovechados por personas de todos los estratos socioeconómicos en caseríos, condominios, fincas, haciendas e industrias. El denominado acuífero de Pereira, principal unidad hidrogeológica de

la zona estudiada, se localiza en la región cafetera colombiana, en una cuenca hidrográfica formada entre el río Cauca a 950 msnm y el Parque Natural de los Nevados a 4900 msnm, hasta el parte aguas del río Otún (Fig. 1). El área abarca 890 km<sup>2</sup> y cubre territorios de los municipios de Pereira, Dosquebradas, Marsella y Santa Rosa de Cabal.

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 et ál. 1998). El sistema hidrográfico lo comprenden los ríos Cauca, Barbas, La Vieja, Otún y Consota y las quebradas Cestillal y El Piñal.

## Problemática

La gestión de los recursos hídricos subterráneos debe basarse en la caracterización integral de los acuíferos (zonas de recarga, de tránsito y de descarga), de sus usuarios, de las tendencias de aprovechamiento y de los factores externos que puedan amenazar su sostenibilidad en el tiempo tanto en cantidad como en calidad. Por ello, la Carder enfrentó una serie de retos al construir el modelo conceptual; entre ellos:

1. A pesar de que el acuífero tiene una gran extensión, la zona de estudio debió limitarse a Risaralda, el área jurisdiccional de la Carder; sin embargo se definieron fronteras que incluyeran las zonas de alimentación del acuífero, coincidentes con divisorias de aguas superficiales y con zonas de descarga natural.
2. La formación Pereira (principal unidad acuífera) se ubica sobre una paleotopografía irregular, lo que dificulta conocer la posición del basamento (Arias 2004). Este basamento lo conforman una unidad terciaria predominantemente arcillosa (formación Cartago, Toc) en el sinclinal de Miravalles y otra cretácica (formación Barroso, Kbv); ambas unidades son afectadas por el sistema de fallas de Romeral (Arias 2004).
3. Los métodos geoeléctricos usados para definir el espesor de los acuíferos en la zona no lograron detectar el techo del basamento en muchos sectores.
4. El acuífero principal es aprovechado tanto por aljibes de poca profundidad, como por pozos de hasta 250 m, con niveles piezométricos diferentes. Esto sugiere que, al menos localmente, pueden presentarse capas o lentes acuíferas de continuidad desconocida.
5. En Dosquebradas existen acuíferos de carácter local interdigitados con el acuífero principal, lo que podría indicar una conexión hidráulica entre los mismos.



Figura 1. Localización de la zona de estudio

6. Se presumía una recarga sustancial desde zonas elevadas de la formación Pereira a partir de 2000 msnm, sin embargo no se tenían herramientas para determinar con precisión la altura de recarga.

### Marco geológico - estructural

La región es de gran complejidad geológica - estructural debido a los procesos genéticos que dieron origen a las unidades aflorantes y a la densidad de fallas -algunas con actividad reciente - que generan bloques hundidos y levantados, basculamientos e interrupciones de unidades que inciden en la conformación del acuífero de Pereira. La formación de la cuenca se remonta al Paleozoico Inferior (?), con el Complejo Cajamarca (Pes), que conforma la Cordillera Central. Durante el Cretáceo, una dorsal inactiva de la Placa Pacífica colisionó con el continente Suramericano, y su incapacidad de ser subducida causó un evento tectónico de alta compresión y su obducción parcial (formación Quebradagrande) que conformó la Cordillera Occidental. El eje central de la dorsal está caracterizado por rocas intrusivas básicas

y ultrabásicas (Complejo Gabroico Santa Rosa) (Arias 2004).

En el Terciario Inferior y Medio se presentó un largo período con levantamientos esporádicos y erosión. En el Plioceno se inició la actividad volcánica de la Cordillera Central, con la apertura de la Falla de Palestina. Esto dio lugar a la formación del abanico del Quindío, compuesto por una secuencia de tobas, lahares y flujos piroclásticos (en el que se enmarca el acuífero de Pereira). Esta fase fue seguida por la construcción encima del abanico de los edificios volcánicos de tipo escudo. Posteriormente se desarrolló un vulcanismo más ácido que formó una serie de estratovolcanes que sobresalen varios cientos de metros sobre la superficie de los volcanes existentes ya erosionados (Arias 2004).

Esta región se encuentra cruzada por el Sistema de Fallas de Romeral, el cual ha sido descrito para esta región como un sistema con dinámica de tipo lateral izquierdo con componente inversa (Lalinde y Toro 2003). A nivel local presenta una tendencia general norte-noreste, con patrones de fallamiento en dirección NS a NNE-SSW, estructuras con

dirección NW-SE a WNW-ESE y fallas NE-SW (Guzmán et ál. 1998).

### Marco hidrogeológico

Las unidades del área de estudio fueron clasificadas en dos grupos, teniendo como base la leyenda hidrogeológica internacional del IAH (Struckmeier y Margat 1995):

#### *Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular*

**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 (Cuadro 1).

**A.2.-** El acuífero con moderada productividad corresponde a los depósitos de fluvio-lacustres de Dosquebradas (Qdq). Se han perforado un total de 15 pozos industriales, algunos sin uso actual (Cuadro 1).

**A.3.-** Los acuíferos con baja productividad están representados por la formación Pereira (Tqp), del Plio-Pleistoceno, de gran heterogeneidad litológica, e integrada por dos secuencias principales: la superior de cenizas volcánicas y la inferior de flujos volcanoclasticos. El espesor de esta unidad, está controlado por las Formaciones Cartago (Toc) y Barroso (Kvb), que a su vez están afectadas por la tectónica de la zona, donde las fallas inversas producen levantamientos del basamento y cambios de espesor de la formación Pereira, lo cual puede afectar el sistema de circula-

ción de las aguas subterráneas (Otálvaro et ál. 2005).

Mediante trabajo de campo se han inventariado un total de 161 pozos profundos (Cuadro 1), de los cuales aproximadamente 46 no tienen uso actual. La explotación del acuífero de Pereira se centra en el sector suburbano de Cerritos y en el perímetro de expansión urbana de Pereira. A pesar de su baja productividad relativa, este acuífero es el de mayor interés en la zona, debido a su gran extensión y la marcada tendencia de las captaciones hacia el abastecimiento doméstico (Carder 2007). La conductividad eléctrica en este acuífero es débil (100 a 250  $\mu\text{S/cm}$ ), con ligero enriquecimiento E-W (hasta 400  $\mu\text{S/cm}$ ), en el sentido regional del flujo del agua subterránea.

#### *Sedimentos y rocas con limitado a ning n recurso de agua subterr nea*

En este grupo se encuentran sedimentos y rocas con muy baja productividad que limitan la formación de acuíferos: formación Cartago (Toc) y algunos depósitos cuaternarios; y un complejo de rocas ígneo-metamórficas muy compactas y fracturadas a nivel superficial; Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central, la formación Quebradagrande (Kvc), la formación Barroso (Kvb), Stock Gabróico de Pereira (Kgp), el Complejo Arquía (Kiea) (Carder 2007).

#### Métodos empleados

Como se mencionó anteriormente, una de las limitaciones del proyecto

era la delimitación de la geometría del acuífero y definición de un modelo geológico-estructural de la zona. Mediante un convenio entre Carder y la Universidad Nacional de Colombia se ejecutó un proyecto de procesamiento, reprocesamiento, modelamiento e interpretación de información geofísica en un área de 210,75  $\text{km}^2$  del acuífero de Pereira. El trabajo de campo e interpretación de la información fue responsabilidad de estudiantes de maestría en Geofísica de la Universidad Nacional, con el asesoramiento de docentes de la maestría y de funcionarios de la Carder (Serna et ál. 2007).

Se levantaron cinco perfiles magnéticos y gravimétricos este-oeste, diez tomografías eléctricas y una línea sísmica de orientación este-oeste, con una longitud mayor a 2 km en el área de La Carmelita (Fig. 2) (Carder - Universidad Nacional 2007). A partir de los datos gravimétricos y magnéticos procesados se generaron perfiles de anomalía total de Bouguer y de campo magnético total reducido al polo, los cuales fueron interpretados en el contexto geológico de la zona. Además se tomaron en cuenta las propiedades de densidad y susceptibilidad magnética de las rocas cretácicas recolectadas en campo, con el fin de conocer la distribución de las masas que generan estas anomalías y su profundidad (Serna et ál. 2007).

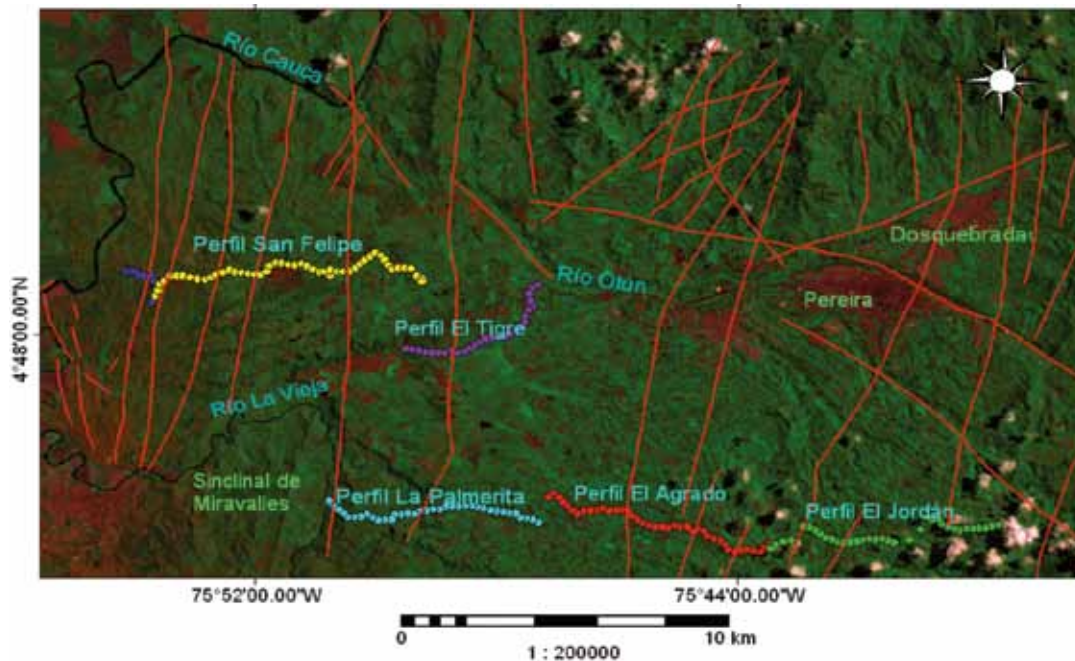
#### *Tomograf as el ctricas*

Este método permite la visualización de alguna propiedad eléctrica

**Cuadro 1.** Características de las captaciones y acuíferos de la zona

Acuíferos	Total pozos perforados	Rango profundidad/ zona filtros	Caudal de explotación (l/s)	Productividad relativa* (lps/m)
Zarzal y aluviales Cauca y La Vieja	21	50 - 160/21 - 149	0,5 - 16	2,0 - 5,0 Alta
Fluvio-lacustres Dosquebradas	15	86 - 235/31 - 228	1 - 20	1,0 - 2,0 Media
Formación Pereira	125	40 - 253/10 - 244	0,1 - 16,7	0,05 - 1,0 Baja

\*Según el IAH (Struckmeier y Margat 1995).  
Fuente: Otálvaro (2009).



**Figura 2.** Perfiles gravimétricos y magnéticos del acuífero de Pereira, Colombia  
Fuente: Carder - Universidad Nacional 2007.

del subsuelo (resistividad ó impedancia general) mediante secciones continuas, tanto en dirección vertical como horizontal (Briceño 2001). Las diez tomografías se distribuyeron en el sector de Cerritos con el objetivo de caracterizar el miembro superior de la formación Pereira.

#### *M todos smicos*

**Sísmica de reflexión:** con los datos que proporciona este método, es posible hallar las profundidades de los contactos entre diferentes unidades a partir de los tiempos de recorrido de ondas elásticas originadas cerca de la superficie y reflejadas hasta por las formaciones subterráneas (Carder - Universidad Nacional 2007).

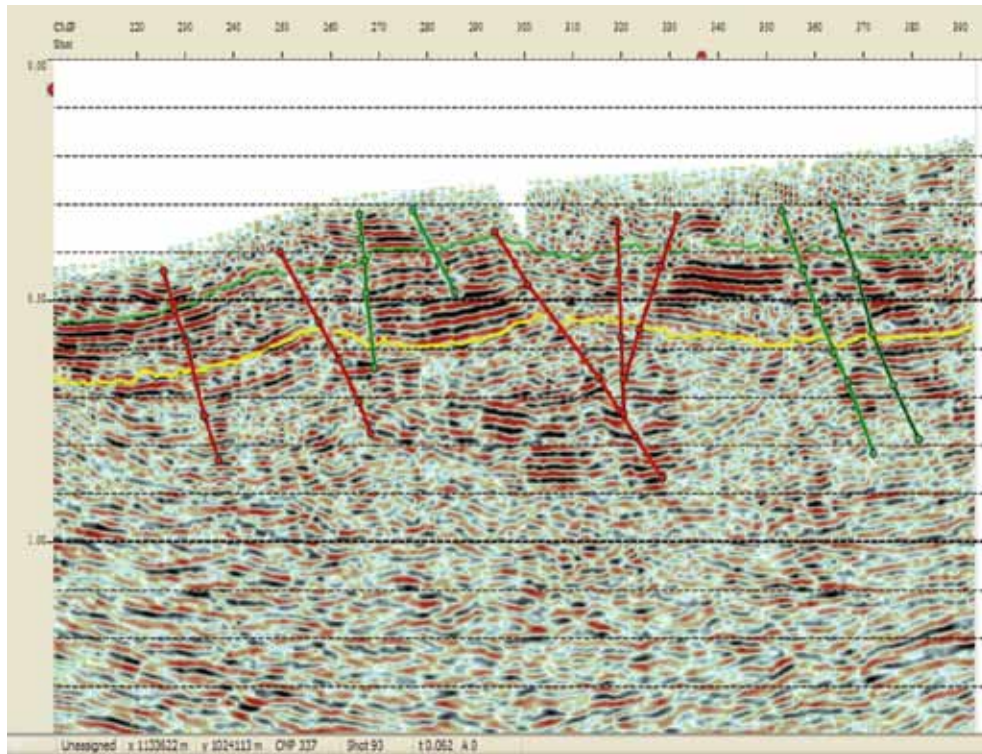
**Sísmica de refracción:** el objetivo de la refracción sísmica es determinar profundidades hasta medios de mayor velocidad (paleocauces, niveles freáticos, basamento, etc.) (Carder - Universidad Nacional 2007). En la zona, a partir de la

línea sísmica procesada se interpretó la paleotopografía sobre la cual se depositó la formación Pereira, en el sector de La Carmelita (Fig. 3). En la figura, el horizonte 1 (reflector verde), representa la paleotopografía sobre la cual se acumularon los sedimentos, el reflector amarillo indica la profundidad y forma del basamento (obtenido a partir de la refracción y campo de velocidades).

#### Mecanismos de recarga del acuífero

Otro de los grandes retos enfrentados en la construcción del modelo hidrogeológico conceptual fue la determinación de las zonas de recarga y de la continuidad de las dos capas acuíferas de la formación Pereira, inferidas por las diferencias en niveles mayores a 20 m entre aljibes y pozos profundos en el sector de Cerritos. En esta fase, gracias al apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica, se tuvo la oportunidad de aplicar

hidrología isotópica. Esta disciplina utiliza tanto isótopos estables como radiactivos para seguir los movimientos del agua en el ciclo hidrológico, ya que en cada etapa del ciclo se registra un pequeño cambio consistente en una diferencia en la concentración de isótopos de oxígeno e hidrógeno en el agua; esa diferencia es tan singular como una huella dactilar. Las ciencias nucleares pueden distinguir entre isótopos valiéndose de la espectrometría de masas para “pesarlos” (IAEA 2002?). La relación entre las fracciones de isótopos de oxígeno y deuterio ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  y  $2\text{H}/1\text{H}$ , respectivamente) se expresan como la desviación en tanto por mil (‰) respecto a un patrón (Vienna-Standard Mean Ocean Water) que representa el valor medio de dicha relación en el agua (UDEP sf). Los isótopos radiactivos, tritio  $^3\text{H}$  y  $^{14}\text{C}$  pueden ser utilizados para determinar la edad en que se infiltró agua subterránea.



**Figura 3.** Interpretación de la sección sísmica del acuífero de Pereira, Colombia  
Fuente: Carder - Universidad Nacional 2007.

Esta fase se ejecutó entre el 2001 y 2004, en una primera campaña se tomaron 52 muestras para 18O y 2H: 18 en la formación Pereira, 2 en Zarzal, 5 en depósitos aluviales, 3 en manantiales, 11 en estaciones de aguas lluvias (entre 930 y 4000 msnm) y 11 de aguas superficiales. Adicionalmente, se tomaron diez puntos para 14C distribuidos en los tres acuíferos. En la segunda campaña se tomaron 11 muestras en la formación Pereira, 5 de aguas superficiales y 6 de estaciones pluviométricas (930 y 3950 msnm). La tercera campaña incluyó sólo muestras de precipitación en las seis estaciones definidas anteriormente (enero a diciembre 2004). Los resultados fueron analizados bajo la orientación de los expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica (Carder 2007).

## Resultados

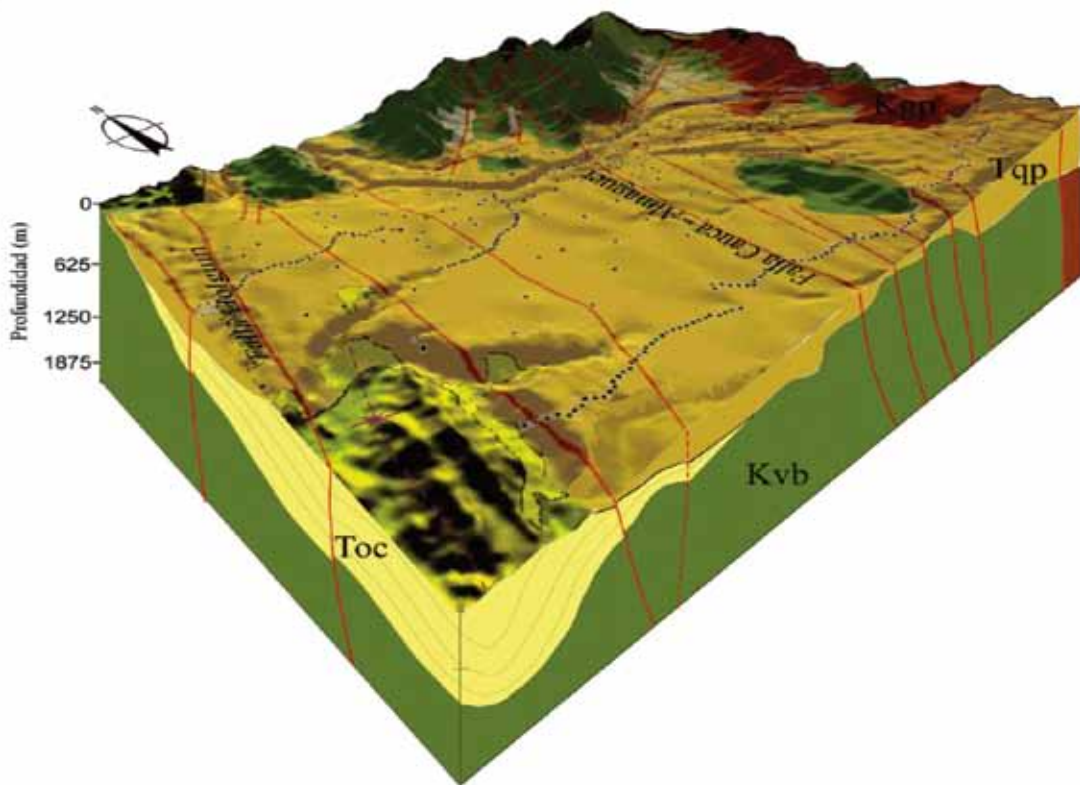
### Modelo geológico geofísico

A partir de los datos gravimétricos y magnéticos procesados fue posible establecer que el techo del basamento cretácico se localiza a mayor profundidad al occidente de la zona, con máximas de 991 m. Hacia el oriente se da una mayor influencia de las fallas que levantan el basamento y se presenta un adelgazamiento de los sedimentos terciarios. Los tres perfiles ubicados al sur de la zona de estudio muestran un alto de basamento cretácico asociado al cuerpo que aflora en este sector.

El modelo 3D construido con base en el procesamiento de los datos gravimétricos y magnéticos muestra que el Sinclinal de Miravalles (formación Cartago, Toc) descansa discordantemente sobre la formación Barroso (Kvb), la cual está

siendo levantada por las fallas de la región (Fig. 4). El contacto entre las dos unidades terciarias formación Cartago y Acuífero de Pereira es depositacional. De acuerdo con los resultados de inversión de las tomografías, se observaron dos capas con resistividades características (entre 60 y 300 ohm-m para la primera y entre 3 y 60 ohm-m para la segunda) asociadas al miembro superior de la formación Pereira.

Al correlacionarse la línea sísmica con la geología del área se encontró que la formación Pereira en el sector presenta espesores de hasta 300 m y está infrayacida por un basamento con una velocidad promedio de 2600 m/s, correspondientes a la formación Cartago (Toc) que conforma el sinclinal de Miravalles. Esta unidad presenta un alto de basamento producido por la activi-



**Figura 4.** Modelo geológico generalizado del subsuelo en el acuífero de Pereira, Colombia  
Fuente: Tomado de Serna 2008.

dad de las fallas que están afectando los sedimentos más recientes.

A partir de la integración de los métodos geofísicos, registros de pozos, información de aljibes y estudios anteriores, se pueden definir tres niveles de la formación Pereira correspondientes de techo a base, a un suelo arcilloso y limoso, con espesor de hasta 17 m y alta resistividad, una segunda capa compuesta principalmente por ceniza volcánica con espesor promedio de 30 metros, pero que puede alcanzar hasta 120 m según los modelos magneto-gravimétricos, y una tercera capa compuesta por flujos de escombros, flujos piroclásticos, conglomerados y arena en matriz arcillo-arenosa, de profundidad variable que depende de la geología subyacente. En general, se evidencia

una gran potencia de la formación Pereira (espesor máximo de 750 m en el sector del Agrado) (Carder-Universidad Nacional 2007).

#### Recarga

Las relaciones isotópicas halladas para los acuíferos Pereira, Zarzal, aluviones del Cuaternario y depósitos fluviolacustres de Dosquebradas están dentro de un mismo rango: entre -9,5 y -10,7‰ en  $^{18}O$  y -67 y -78‰ en  $2H$  (VS. VSMOW) y se ubican próximos a la línea meteórica mundial con un exceso en deuterio más débil que para las lluvias. En la composición isotópica de las dos capas acuíferas de la formación Pereira se presenta una ligera diferencia. En el caso de los aljibes (nivel superior), se nota un enriquecimiento en  $^{18}O$ , con valores entre


-9,5 y -10‰, lo que según el gradiente isotópico de 0,1‰/100 m definido con dos años de mediciones en cinco estaciones pluviométricas sugiere que la zona de recarga se ubica desde 950 a 1500 msnm. Para el nivel inferior, ligeramente más empobrecido (-9,6 a -10,7‰), la recarga se da a alturas entre 1200 y 1500 msnm (Carder 2007). De este modo, 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 3500 msnm. Con estos importantes resultados, la Carder, mediante resolución 444 de 2008, definió lineamientos de protección especial para esta zona (Taupin 2002-2005).

### Edad de infiltración del agua

De los siete puntos del acuífero de Pereira, cinco tienen entre 1 y 2,1 UT (unidades de tritio) y alta actividad de  $^{14}\text{C}$  (entre 91,2 y 95,8%), que confirman un componente de recarga reciente. No se detectó tritio en los acuíferos locales, aluviones del Cuaternario, ni en Zarzal, por lo que se les atribuye una edad superior a 50 años. Este hecho se confirma por una baja actividad de  $^{14}\text{C}$  (88,8% para los aluviones y entre 68 y 91,5% para la formación Zarzal) (Carder 2007).

La conexión hidráulica entre los acuíferos, que había sido supuesta

con base en la información geológica, está reforzada tanto por el aumento en la conductividad eléctrica en el sentido del flujo del agua subterránea (E-W, principalmente), como por los resultados de análisis de isótopos radioactivos, que indican un aumento de la edad del agua en el sentido del flujo subterráneo, y muy débil o ausente recarga por precipitación directa en los acuíferos Zarzal y aluviales del río Cauca (Taupin 2002-2004, Vélez et ál. 2005). Con base en la estimación del volumen útil del acuífero (teniendo en cuenta la posición de niveles piezométricos

y del basamento determinado con el modelo geológico-geofísico) y la porosidad efectiva según la litología predominante, se estimaron reservas estáticas superiores a 4000 millones de metros cúbicos (Otálvaro 2007). Estas reservas no corresponden totalmente a recursos explotables, ya que actualmente sólo se está aprovechando parte de la recarga, con un índice de escasez bajo (0,18, caudal captado/caudal aprovechable). Sin embargo, si fuera absolutamente necesario en el futuro, parte de estas reservas podrían llegar a aprovecharse de forma sostenible. 

### Literatura citada

- Arias, GF. 2004. Geología y geomorfología. *In* CARDER. Plan de Manejo Integrado de Aguas Subterráneas. Pereira, Colombia, CARDER. Informe Técnico. 52 p.
- Briceno, LA. 2001. Curso internacional de aguas subterráneas: técnicas de evaluación y gestión, modelos computacionales, prospección geofísica. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias.
- CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda). 1998. Estudio de oferta y demanda hídrica en la Subregión 1 del departamento de Risaralda. Pereira, Colombia, 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, Colombia.
- CARDER – Universidad Nacional de Colombia. 2007. Modelamiento geofísico de Cerritos, Municipio de Pereira, Risaralda. Pereira, Colombia.
- Guzmán, J; Franco, G; Ochoa, M. 1998. Evaluación geotectónica, Plan de acción ambiental Pereira Centro Occidente. Pereira, Colombia, Proyecto para la Mitigación de Riesgo Sísmico.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2002?. Gestión de los recursos hídricos mediante la hidrología isotópica. Disponible en [http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/Spanish/water\\_sp.pdf](http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/Spanish/water_sp.pdf)
- Lalinde, CP; Toro, GE. 2003. Estudio de neotectónica en algunos de los segmentos de falla que afectan el abanico Pereira – Armenia, Colombia. Medellín, Colombia, Universidad EAFIT, Maestría en Ciencias de la Tierra.
- Otálvaro, DL. 2007. Apoyo al cálculo del índice de escasez de las aguas subterráneas en el acuífero de Pereira. Informe Contrato de Prestación de Servicios 056/07. Pereira, Colombia, CARDER.
- Otálvaro, DL. 2009. Estado actual de los recursos hídricos subterráneos de Pereira y Dosquebradas. Informe Interno. Pereira, Colombia, CARDER.
- Otálvaro, DL; Arias, GF; Vélez, ME; García, P. 2005. Modelo hidrogeológico conceptual preliminar del acuífero de Pereira. Plan de manejo integral del agua subterránea. Pereira, Colombia, CARDER.
- Serna, LM. 2008. Modelo geológico-geofísico del acuífero de Pereira en el sector de Cerritos, Departamento de Risaralda. Tesis de maestría en Geofísica. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional - Sede Bogotá, Departamento de Geociencias.
- Serna, LM; Restrepo, JG; Montes, L; Vargas, C. 2007. Modelamiento geofísico de un área de la zona de Cerritos, municipio de Pereira (Risaralda). Memorias digitales del Taller Resultados de la Gestión Sostenible del agua subterránea en Colombia (Proyecto Regional OIEA-RLA/8/031). Pereira, Colombia, CARDER-UTP.
- Struckmeier, WF; Margat, J. 1995. Hydrogeological maps: A guide and a standard legend. Hannover, Germany, IAH. Vol. 17. 177 p.
- Taupin, JD. 2002-2005. Informes de misiones a Colombia: manejo de los recursos subterráneos (Proyecto Regional OIEA-RLA/8/031). Viena, Austria, OIEA.
- Udep (Universidad de Piura). Sf. Hidroquímica e isótopos. Piura, Perú, Proyecto Regional OIEA-RLA 8/031. Disponible en <http://www.udep.edu.pe/recursoshidricos/hidroquimica%20e%20isotopos.pdf>
- Vélez, ME; Arias, GF; García, JO; Taupin, JD; Vargas, MC. 2004. Primeros resultados hidrogeológicos e hidrogeoquímicos del acuífero de Pereira (Colombia). Memorias XXXIII IAH Congress y VII Congreso ALHSUD [Zacatecas, México, 11-15 octubre 2004].