

# Hidrogeología de las formaciones terciarias volcánicas y cuaternarias en un sector de la cuenca alta del río Viejo (Jinotega, Nicaragua)

## *Hydrogeology of Tertiary volcanic and Quaternary formations in a sector of the upper basin of Río Viejo (Jinotega, Nicaragua)*

Miguel Martín-Loeches<sup>1</sup>, Hermógenes Fuentes<sup>2</sup> y Luis F. Rebollo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Edificio de Ciencias, Campus Externo, Universidad de Alcalá, C.N. II, km. 33,600, 28871-Alcalá de Henares, Madrid, España.

miguel.martin@uah.es, luis.rebollo@uah.es

<sup>2</sup> Bº José Benito Escobar, Monumento 3 1/2 C. al Este. 190465-1792-Esteli, Nicaragua. hfuentes64@yahoo.es

### ABSTRACT

The volcanic Coyol Formation of the Tertiary of Nicaragua is the main substrate in the upper Río Viejo basin (Jinotega). Its upper 300 meters have better hydrogeological conditions due to the lower clay content of their alteration products. Morphologically appears in large flat plateaus that favor the establishment of a network of groundwater flow similar to those described in porous substrates; that scheme explains the appearance of flowing artesian wells in the valley. The alluvial formation that covers the valley in the studied sector receives the groundwater from the volcanic adjacent formations; can reach up to 30 m of thickness. Its flow behaves independently from the Coyol due to its higher permeability. Both formations have groundwater of HCO<sub>3</sub>-Ca-Na the type. The estimations show a significant potential for using groundwater in a region of incipient agricultural transformation. Disturbance in Río Viejo flow must be avoided in future planning.

**Key-words:** Hydrogeology, Central Nicaragua, flowing artesian wells, volcanic rocks, groundwater quality.

### RESUMEN

La Formación volcánica Coyol del Terciario de Nicaragua, es el sustrato principal de la Cuenca alta del Río Viejo (Jinotega). Sus primeros 300 metros tienen mejores condiciones hidrogeológicas, ya que poseen menor contenido en arcillas procedentes de la alteración. Morfológicamente aparece en grandes plataformas de techo plano que favorecen la aparición de un sistema de flujo semejante al que se describe en los medios detriticos, lo que explica la aparición de pozos surgentes en el valle. Los recursos de agua de esta formación se pueden estimar entre 0,8 y 3 hm<sup>3</sup>, de acuerdo con los valores extremos de las precipitaciones y para un área de recarga de 18 km<sup>2</sup>. La unidad aluvial, con un área de 17 km<sup>2</sup>, puede alcanzar unos recursos de 5 hm<sup>3</sup>/año. Las reservas de agua subterránea del acuífero aluvial se estiman en 20 hm<sup>3</sup>, y en 3 hm<sup>3</sup> para la parte fracturada del Coyol. Las estimaciones muestran un cierto potencial del uso de las aguas subterráneas en una región de transformación agrícola incipiente. Consideramos importante para el correcto planeamiento del uso de los recursos de agua no alterar el régimen de flujo del Río Viejo, que está claramente vinculado a los acuíferos mencionados.

**Palabras clave:** Hidrogeología, Centro de Nicaragua, pozos surgentes, rocas volcánicas, calidad del agua subterránea.

Geogaceta, 54 (2013), 115-118.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31 de enero de 2013  
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013  
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

## Introducción y objetivo

El programa de cooperación internacional "Terrena", que la ONG *Ingeniería Sin Fronteras –Asociación Para el Desarrollo* lidera con sus socios locales en el Departamento de Jinotega (región central de Nicaragua), tiene entre sus principales objetivos crear un distrito de riego en la cuenca del río Viejo, para el que se debe asegurar una fuente de agua permanente. Esta, aún no concretada, puede ser el agua subterránea

de los acuíferos del valle del río Viejo, cuyo potencial ha sido evaluado por un equipo de hidrogeólogos de la Universidad de Alcalá (España) y un hidrogeólogo profesional de Nicaragua.

Así pues, el estudio tiene como objetivo identificar las zonas de la cuenca alta del río Viejo donde existe mayor potencial para el alumbramiento de aguas subterráneas en cantidad y calidad suficientes para satisfacer la demanda del nuevo distrito de riego.

## Localización geográfica

El área de estudio se localiza en el tramo del valle del río Viejo comprendido entre las localidades de Valerio y El Granadillo, del Departamento de Jinotega (Fig. 1 y 2A). Este sector se corresponde con el de mayor desarrollo de los materiales aluviales (anchura media de 750 m y máxima de 1500 m; espesor máximo de 30 m), que ocupan una superficie de 17 km<sup>2</sup> en la que se ubican nueve pequeñas localidades campesinas.



Fig. 1.- Localización del área de estudio.  
Fig. 1.- Location of the studied area.

### Geología y geomorfología

El área de estudio se localiza en la Provincia Geológica de la Región Central de Nicaragua, compuesta por rocas volcánicas (CIGEO, 2011). Su geomorfología está representada por mesetas, planas y alargadas, que se disponen a diferentes altitudes, delimitando pequeños valles intramontanos por medio de escarpes abruptos.

El sustrato está formado por rocas volcánicas del Mioceno y Plioceno (Grupo Coyol) y sedimentos cuaternarios en forma de depósitos coluviales y aluviales que tapan el fondo del valle (Fig. 2A).

El Mioceno Superior - Plioceno volcánico del Grupo Coyol descansa sobre el Grupo Matagalpa; comprende extensas capas de lavas y flujos de ceniza. Según la composición litológica y forma de yacer, se subdivide en dos sub-grupos, el Coyol Superior y el Coyol Inferior, separados por una discontinuidad angular, aunque no se descarta una posible interdigitación entre ellos.

El Coyol Superior, presente en la parte alta de los principales accidentes orográficos que rodean el valle del río Viejo, está representado por basaltos, andesitas basálticas, andesitas e ignimbritas. El Coyol Inferior, subyacente, está formado por rocas dacíticas, tobas y aglomerados, de coloración generalmente blanquecina y notable contenido en arcillas.

La estructura interna de estos materiales es bastante irregular (flujos de lavas, de-

pósitos de piroclastos, etc.) pero yacen formando cuerpos tabulares o pseudotabulares.

La actividad tectónica provocó la fracturación del conjunto descrito, formándose fallas con direcciones NO-SE y NE-SO (Fig. 2A) que compartimentan el territorio en bloques en los que se aprecia un basculamiento hacia el Suroeste.

Los depósitos cuaternarios descansan discordantes sobre las rocas volcánicas terciarias. Ocupan el fondo de los valles intermontanos y las llanuras aluviales desarrolladas a lo largo de los cursos fluviales. Son un conjunto de sedimentos clásticos constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas.

### Trabajos realizados

1. *Estudio de la información existente y reconocimiento previo de las unidades geológicas.* Se hizo una valoración del potencial de las unidades geológicas como acuíferos. Así, los materiales aluviales del Cuaternario y los depósitos coluviales, en conexión hidráulica, constituyen un acuífero de extensión limitada, con permeabilidad por porosidad intergranular. Las rocas del Grupo Coyol tienen tanta mayor capacidad para almacenar y transmitir agua cuanto más fisuradas y alteradas se encuentren y menor sea su contenido en arcillas. Esta última circunstancia señala *a priori* al Coyol Inferior como una unidad de escaso potencial.

Debido a la existencia de pozos perforados surgentes en el valle, abiertos indistintamente en el Coyol Superior o en el Inferior, admitimos que ambos se comportan globalmente como un acuífero de baja permeabilidad, heterogéneo y anisótropo con porosidad por fracturación donde el flujo se canaliza de forma preferente por los niveles más permeables.

La cartografía geológica existente y los reconocimientos de campo efectuados han permitido señalar las fracturas principales del Coyol. Las zonas hidrogeológicamente más favorables *a priori* son aquellas en las que estas fallas se cruzan con un mayor espesor de saturación del aluvial.

2. *Inventario de puntos de agua y levantamiento altimétrico.* Se han inventariado 34 puntos de agua en el valle. Los pozos excavados sólo interesan el aluvial y los perforados sólo captan agua del Coyol o de ambas unidades. En el mapa de la figura 2A se indica su posición.

Se realizó un levantamiento altimétrico de los puntos del inventario con un equipo de posicionamiento global, con un margen de error inferior a 20 cm.

3. *Reconocimiento geofísico.* Se realizaron cuatro perfiles eléctricos en el eje del valle y perpendiculares a la traza de las fallas más importantes (Fig. 2A). El uso de estas técnicas en la zona se justifica por existir *a priori* un suficiente contraste de resistividades entre los materiales aluviales y los del Coyol, tanto fracturados como no.

4. *Ensayo de bombeo.* Con una bomba sumergible adecuada se realizó una prueba de bombeo escalonada en un pozo de 43 metros de profundidad, que se encontraba sin equipar en el momento de hacer este estudio.

Se tomaron medidas del descenso del nivel del agua tanto en el pozo de bombeo como en un pozo de observación situado a 28 metros de distancia. En el perfil I-I' de la figura 2B se muestra la interpretación del contexto hidrogeológico.

El pozo se encuentra a unos 35 metros de los afloramientos del Coyol que forman los límites del valle y sobre la zona marginal del abanico aluvial que forma el arroyo que parte del cerro contiguo. Debemos pensar que el conjunto cuaternario (coluvial y aluvial) en la vertical del pozo tiene un débil espesor, en torno a 7-10 m. El resto, hasta los 43 metros totales del pozo, debe de ser Coyol Superior fracturado.

El nivel estático en enero de 2010 se si-

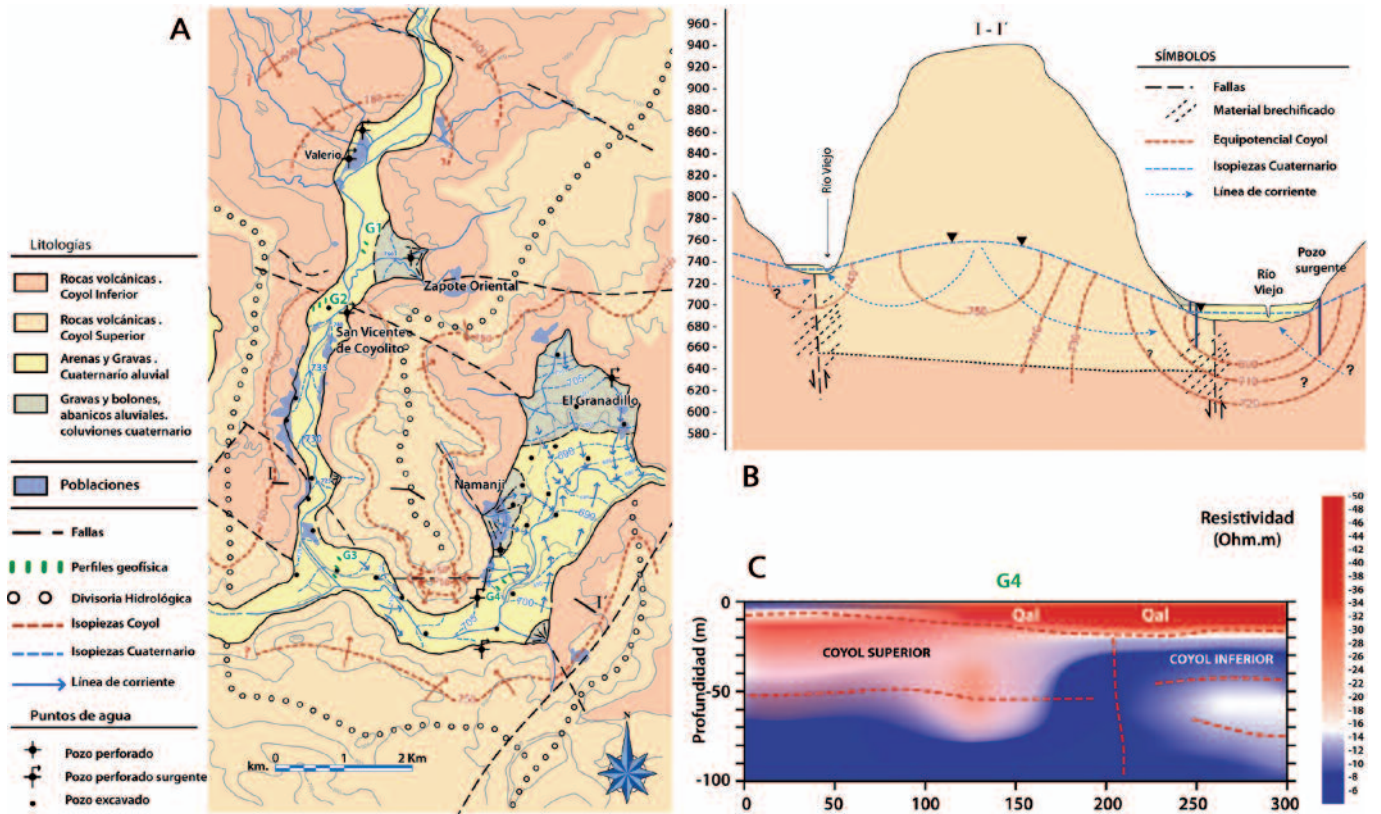


Fig. 2.- A) Mapa hidrogeológico del área de estudio (modificado de INETER, 2004). B) Corte I-I' (ver situación en Fig. 2 A). C) Variación de la resistividad eléctrica a lo largo de la línea G4.

Fig. 2.- A) Hydrogeological map of the studied area. B) I-I' cross section. C) Electrical resistivity along G4 line.

tuaba a 7,8 metros de profundidad, produciéndose una depresión de 12 metros al término del bombeo, lo que avala la idea de que el pozo capta agua fundamentalmente del Coyol. Bajo esta suposición se ha obtenido el valor de varios parámetros hidráulicos, que atribuimos a las rocas volcánicas fracturadas del Coyol.

La prueba escalonada permite aventurar el probable comportamiento (caudales, rendimientos) de futuras captaciones en el valle del río Viejo en posiciones equivalentes.

### Características hidrogeológicas de las unidades e hipótesis de funcionamiento hidráulico

El mapa hidrogeológico de la figura 2A muestra toda la información recogida y la interpretación realizada referente al flujo del agua subterránea.

Las dos unidades del Coyol presentan en superficie zonas alteradas permeables, capaces de transmitir y almacenar agua en cantidades apreciables.

En profundidad, los basaltos, andesitas y basaltos andesíticos, fracturados del Coyol

Superior presentan buenas condiciones hidrogeológicas. El Coyol inferior posee un interés menor por su mayor contenido en arcillas.

Localmente las zonas alteradas superficiales pueden aportar caudales de hasta 2 L/s (litros por segundo) en posiciones topográficas elevadas, que se mantienen si al pozo llega agua de una amplia área de alimentación. No obstante, lo usual en estas posiciones es que las captaciones aporten caudales de 0,3 a 0,6 L/s. En cotas más bajas, próximas al fondo del valle del río Viejo, los caudales pueden ser mayores y los pozos ocasionalmente surgentes.

La Formación Coyol se recarga por infiltración del agua de lluvia a través de las superficies planas superiores y las zonas de alteración en las laderas. La mayor parte del agua así infiltrada resurge a través de manantiales; el resto sigue una circulación más profunda y descarga en el fondo del valle (Alonso, 2007). El Coyol es un conjunto de baja permeabilidad (aunque los materiales del Coyol Superior poseen valores de permeabilidad un orden de magnitud por encima de los valores propios en el Coyol Inferior), de manera que la infiltración "pro-

funda" en él debe de ser reducida.

Sin embargo, la experiencia acumulada en la región indica que el nivel de saturación regional de estos macizos parece situarse a notable profundidad respecto de la superficie de recarga, posiblemente en torno a 750 msnm (de 150 a 200 m por debajo de la superficie de recarga, como se aprecia en las figuras 2A y 2B). Estos elevados valores de espesor de la zona no saturada regional son infrecuentes en materiales de reducida permeabilidad.

Entendemos que es posible establecer un nivel piezométrico general, sin que se trate de tramos desconectados (Pulido, 2007), donde existen vías de circulación preferente del agua a través de conductos de mayor permeabilidad, que hacia el valle entran claramente en carga y generan pozos surgentes con caudales de entre 0,3 y 1,25 L/s. Este modelo es compatible con el esquema clásico de Hubbert (1940), que puede cumplirse en términos generales para explicar las observaciones realizadas en el valle (ver Fig. 2B).

Además existen grandes fracturas y su entorno de afección, que pueden actuar como colectores del agua que satura los ni-



veles profundos del Coyol, alterando el patrón teórico de la distribución del potencial hidráulico y haciendo que una parte importante del flujo descargue a través de ellas en el aluvial del río Viejo con mayor facilidad que el resto del sustrato; pensamos que esto ocurre al suroeste de Namanjé gracias a una falla de dirección E-O (ver Fig. 2A) y donde se ubica el pozo ensayado que elevó su caudal hasta los 10 L/s.

Aunque estas características son comunes para el conjunto de esta formación volcánica, hemos de recordar que el Coyol Superior tiene mejores propiedades hidrogeológicas por su mayor abundancia relativa de rocas masivas (del tipo lava basáltica), en que abundan las fracturas limpias. No obstante ello, la alteración de estos materiales proporciona residuos muy arcillosos, como lo evidencian los bajos valores de resistividad eléctrica medidos (5 a 20 ohm.m) en diversas posiciones de una y otra subunidad (Fig. 2C).

Es difícil precisar un valor de profundidad a partir del cual el flujo regional en el Coyol deja de ser significativo debido a la presión; sin embargo, las columnas litológicas de las perforaciones efectuadas en el fondo del valle no muestran posiciones productivas más allá de los 50 metros de profundidad, por lo que incluimos este valor en nuestro modelo conceptual.

Los valores que atribuimos a los parámetros hidráulicos del Coyol Superior fracturado, a partir de la prueba de bombeo efectuada, son: una transmisividad ( $T$ ) de 240 m<sup>2</sup>/día, un coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) de 0,08 y, considerando un espesor saturado ( $b$ ) de 50 metros (ver Fig. 2C), una permeabilidad ( $k$ ) de unos 5 m/día. Los valores de  $T$  y  $k$  son de bajos a medios y el de  $S$  es semejante al de acuíferos permeables por porosidad intergranular (Villanueva e Iglesias, 1984). Estrictamente, estos valores son solo aplicables al entorno próximo al ensayado.

Los depósitos cuaternarios están compuestos de materiales detríticos de granulometría variable, permeables por porosidad intergranular; su potencial hidrogeológico depende de su espesor saturado. Están representados por el aluvial del río Viejo y por los depósitos de los abanicos aluviales y los fragmentos del Coyol caídos de las vertientes, acumulados sobre aquél (Fig. 2A). El espesor del aluvial crece hacia el sur, siendo en el centro del valle en Valerio de unos 5 metros; hacia Namanjé la prospección geoelectrónica refleja la existencia de hasta 15-

20 metros de este material (Fig. 2C). Al norte de San Vicente del Coyolito, no obstante, algunos sondeos eléctricos verticales del perfil geofísico G2 sugieren espesores del aluvial de hasta 30 m.

Estos depósitos se recargan por infiltración del agua de lluvia, y también por el Coyol en su base. La permeabilidad de la unidad volcánica es muy inferior a la del aluvial, de manera que la transferencia de agua a éste se realiza con lentitud y con caudales reducidos, salvo en las zonas de confluencia de las fracturas más importantes; en cualquier caso, hemos de admitir para el flujo del agua en el aluvial un comportamiento casi independiente del Coyol (Fig. 2A).

Se calcula que el espesor saturado del aluvial en las zonas centrales del valle, en enero de 2010, oscila desde 10-15 m a un mínimo de 5 m, y el gradiente hidráulico varía entre 0,01 y 0,03; aplicando un valor medio de permeabilidad de 10 m/día y de porosidad eficaz comprendida entre 0,15 y 0,20, obtenemos velocidades del agua subterránea de 0,6 a 1,5 m/d.

### Físico-química y termalismo del agua subterránea

La conductividad eléctrica media registrada es de unos 400  $\mu$ S/cm, no existiendo diferencias mencionables entre el agua de una y otra unidad; su carácter es bicarbonatado-cálcico-sódico. Ninguno de los pozos analizados, incluidos los surgentes, muestran concentraciones anómalas en los elementos comunes; tampoco en arsénico, que se incluyó en los análisis por aparecer en el país en contextos hidrogeológicos semejantes.

Se ha observado cierto termalismo en algunos de los pozos perforados en el área de estudio (hasta 34 °C), derivado de la actividad volcánica que generó el sustrato dominante en esta región de Nicaragua. Al igual que sucede con el fenómeno de la surgencia, los pozos con agua termal tampoco se encuentran claramente asociados a las fracturas más importantes del área. Estos hechos parecen responder a una distribución difusa de las zonas con calor en el subsuelo a partir de una cierta profundidad.

### Conclusiones

El estudio realizado ha permitido señalar al Valle del Río Viejo en el sector es-

tudiado como una zona de notable interés hidrogeológico. En primer lugar por el hecho de comportarse el sustrato volcánico dominante como un material continuo desde el punto de vista del flujo del agua subterránea. En segundo lugar, por localizarse en él sectores de cierta importancia productiva que corresponden a las áreas afectadas por las grandes fracturas del Coyol Superior; a su vez, dentro de estas áreas el interés crece a medida que aumenta el espesor de la zona saturada en el aluvial. En base a los resultados obtenidos en la prueba de bombeo escalonado, consideramos que, en las zonas más favorables, los pozos que capten el acuífero aluvial en conjunto con el Coyol pueden alcanzar caudales del orden de 15 L/s con una eficiencia razonable.

A partir de las pruebas geofísicas, consideramos una profundidad de 60-70 metros como la más adecuada para los pozos de captación de agua, ya que por debajo se encuentran las rocas poco permeables del Coyol Inferior.

Es importante realizar una correcta planificación del uso de los recursos hídricos en esta comarca para evitar alteraciones importantes del caudal del río Viejo, que se encuentra en clara conexión con los acuíferos del valle.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha podido realizar gracias a un Proyecto de ayuda de la Universidad de Alcalá para la realización de acciones de Cooperación Solidaria, y al auspicio de la ONG Ingeniería Sin Fronteras – Asociación Para el Desarrollo.

### Referencias

- Alonso (2007). Proyecto Fin de Carrera. Ciencias Ambientales UAH. 130 p.
- CIGEO (2011). Informe interno. Centro de Investigaciones Geocientíficas. UNAN Managua. Managua, 42 pp.
- Hubbert, M.K. (1940). *Journal of Geology* 48, 785-944.
- INETER (2004). *Mapa hidrogeológico de Nicaragua 1:250.000. Hoja Estelí*. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
- Pulido, A. (2007). *Nociones de Hidrogeología para Ambientólogos*. Ed. Universidad de Almería, 492 p.
- Villanueva, M. e Iglesias, A. (1984). *Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. IGME. Madrid. 435p.