

Aplicaciones de técnicas geofísicas en la cuenca hidrogeológica de Burruyacu, provincia de Tucumán, República Argentina.

Tineo, A. ⁽¹⁾, Falcón, C. ⁽¹⁾, Ponti, N. ⁽¹⁾

RESUMEN

La Cuenca de Burruyacu está ubicada en el sector noreste de la Provincia de Tucumán. Abarca una extensión del orden de los 2.700 km², desde el borde oriental de las sierras de La Ramada y del Campo, hasta sobrepasar el límite interprovincial con Santiago del Estero. En la ladera oriental de las sierras afloran rocas metamórficas del basamento de edad Precámbrico superior-Paleozoico inferior y sedimentitas de edad Cretácico-Terciarias. En el piedemonte y llanura vecinas, los niveles sedimentarios clásticos de edad Cuaternaria cubren toda el área, formando una cubeta con importantes reservorios de agua subterránea. (Fig.1)

Las precipitaciones en la zona se producen en los meses de verano y decrecen desde el área montañosa, con 900 mm anuales hasta los 500 mm anuales en la zona de límite interprovincial.

Se han controlado más de 100 perforaciones para agua, en profundidades que van de 100 m a 400 m de profundidad y que son utilizadas para abastecimiento a pequeñas poblaciones, ganadería y riego. La zona cuenta con escasa provisión de agua superficial a través del río Tajamar o del Cajón, el cual tiene totalmente comprometido su escaso caudal. Por ello existe una gran demanda de agua subterránea para riego de cítricos en la zona pedemontana y de granos y ganadería en la zona de llanura.

Se realizaron estudios geofísicos mediante el uso del método geoelectrico (SEV) a fin de programar nuevas perforaciones para su utilización con equipos de riego presurizados y controlados con testificación eléctrica, lo que permitió elaborar un modelo conceptual de los sistemas acuíferos de la cuenca. En el trabajo se sintetizan las características de la cuenca, la ubicación de las perforaciones y los resultados de los Sondeos Eléctricos Verticales realizados, destacando la importancia del método para diferenciar los ambientes hidrogeológicos en el área con control de perforaciones y testificación eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrogeológica de Burruyacu se desarrolla en el piedemonte oriental de las Sierras de La Ramada y del Campo y la llanura vecina, en el sector noreste de la Provincia de Tucumán, prolongándose en la Provincia de Santiago del Estero. Tiene una extensión del orden de los 2.700 Km² entre el Río Urueña al Norte y el alto estructural de El Espinillo – Cañetes – Tacanas al sur.

Los primeros trabajos sobre hidrogeología fueron realizados por R. Stappenbeck (1921), donde describe los principales rasgos de la cuenca y delimita las áreas de surgencia natural. Desde la Cátedra de Hidrogeología de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán, a partir de la década de 1990 se realizaron una serie de trabajos de tesis de grado a escala 1: 50.000 que describen la zona en base a resultados de perforaciones y calidad del agua obtenida. (Ramírez, M., 1983; Ibáñez Palacios, G., 1989; D'Urso, C., 1990; Casanueva, P., 1992; González, J., 1992 y Barrios, C., 1994).

Entre 1994 y 1996 se realizaron estudios geofísicos

puntuales mediante el método de geoelectrica conjuntamente con docentes del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional de San Juan (Tineo y Ponti). Posteriormente en 1997, se realizó un programa conjunto con investigadores de la Universidad de Buenos Aires, cubriendo nuevas áreas con una distribución que permitió realizar perfiles transversales de la cuenca.

Desde 1998 se lleva a cabo un programa de investigación con subsidios del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT), denominado "Evaluación Hidrogeológica y Geoambiental de la Cuenca de Burruyacu, Provincias de Tucumán y Santiago del Estero", a fin de analizar con mayor detalle las características geológicas, hidrogeológicas y ambientales de este importante sector agrícola - ganadero que se abastece fundamentalmente de agua del subsuelo, al igual que su población.

Con esa finalidad se realizó un relevamiento sistemático de perforaciones que cubre toda el área (Martínez, S.1998, tesis de grado) y actualmente se realiza un trabajo de tesis de postgrado (Falcón, Carlos).

GEOLOGÍA

El borde occidental de la cuenca está limitado por las sierras de La Ramada y del Campo, en cuyo núcleo afloran rocas metamórficas de bajo grado, filitas y

⁽¹⁾ Cátedra de Hidrogeología - Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán - INSUGEO-CONICET. Miguel Lillo 205 - 4000 - San Miguel de Tucumán. Instituto de Geofísica-Universidad Nacional de San Juan.

pizarras de coloración verde grisácea con venas de cuarzo, atribuidas al Precámbrico – Paleozoico inferior.

Afloran en la zona media y alta de los cordones montañosos y se encuentran muy fracturadas y diaclasadas, lo que las confieren permeabilidad secundaria con buena cobertura de vegetación. Ambas características permiten aumentar la infiltración del agua de lluvia.

En su borde se adosan en discordancia afloramientos aislados de brechas y areniscas conglomerádicas y arcilitas de coloración rojiza, compactas, perteneciente al Grupo Salta de edad Cretácica inferior a media, de baja permeabilidad. Dentro de esta formación se han determinado cuerpos basálticos con escaso desarrollo areal.

Sobre las sedimentitas cretácicas se apoyan en discordancia niveles sedimentarios compuestos por areniscas calcáreas, limolitas y margas verdes con venillas de yeso, de la Formación Río Salí, de edad Miocena. Son en general compactos, de baja permeabilidad y abundante material calcáreo y yeso, lo que nos permite calificarlo como el “basamento hidrogeológico” de la cuenca.

El Terciario superior se caracteriza por la presencia de niveles de arenas cuarzosas finas a medianas, con intercalaciones de limos y arcillas pardo rojizas.

Aunque no está bien definido en superficie, debido a los escasos afloramientos encontrados en lomadas cubiertas por sedimentos Cuaternarios, el Plioceno se ha encontrado en perforaciones profundas en el subsuelo de la cuenca formando importantes reservorios de agua.

A fines del Terciario, los movimientos ándicos dieron origen a las características morfoestructurales de las Sierras de La Ramada y El Campo, la depresión de Burruyacu, se fue colmatando con una sedimentación Cuaternaria con importantes horizontes de conglomerados, gravas y arenas, constituidos por clastos de metamorfitas y cuarzo en menor proporción, con matriz limo arenosa, intercalados con niveles mas finos de limos y arcillas de coloración parda. Estos horizontes tienen un buen desarrollo en el subsuelo, alcanzando espesores del orden de los 150 - 200 m. (El Azul – Los Pempas – La Ramada), en el sector Oeste de la zona estudiada.

Culmina esta columna con sedimentos loésicos, de espesores variables entre 20 y 40 m. El loess ha permitido un buen desarrollo de suelos aptos para la agricultura.

Los movimientos más recientes han afectado el desarrollo de la sedimentación cuaternaria, fundamentalmente en la zona pedemontana y el límite de la zona de llanura. Notables cambios en el diseño de la red hídrica permiten determinar la divagación del Río Tajamar, formando un importante cono aluvial cuya influencia alcanza hasta el límite con la Provincia de

Santiago del Estero (Tineo, et al. 1992).

A través de los perfiles litológicos registrados en numerosas perforaciones, consideramos que los niveles sedimentarios del Cuaternario, portadores de importantes reservorios de agua subterránea de buena calidad, alcanzan entre 150 y 200 m de espesor.

Aunque se hace difícil determinar el límite inferior de esta secuencia, hemos observado en la zona de llanura un predominio de sedimentos finos con arenas cuarzosas finas a medianas, intercaladas con potentes niveles limo-arcillosos pardo rojizos, que marcarían el límite inferior en la zona.

GEOFÍSICA

La investigación geoelectrica se llevó a cabo mediante el empleo de un resistivímetro digital de alta precisión marca Geotrónica MH, industria Argentina. Este instrumento está constituido por dos módulos sincronizados; uno de ellos, el transmisor, envía corriente constante hasta 250 mA. El otro módulo denominado receptor, opera resistividades y potencial espontáneo. Ambos módulos poseen un display de cristal líquido que permite una lectura rápida. Se utilizaron electrodos impolarizables de PVC, cobre y madera porosa, con una solución sobresaturada de sulfato de cobre (SO₄Cu).

En todos los SEV realizados, se utilizó el dispositivo de Schlumberger simétrico, con una abertura máxima de la línea de alimentación (AB) de 2.000 m. La interpretación se llevó a cabo empleando en una primera etapa, las curvas patrón de Dreischicht modI Kurven fur geolktische Erich Mundry y Joaquin Homilius, ajustadas en una segunda etapa por un programa computacional con salida gráfica denominado “Modelón”, que emplea para tal fin los filtros de Gutasarma, Byson y Johansen de 142 coeficientes.

En una síntesis de los resultados obtenidos podemos observar que es posible determinar grandes paquetes en base a los valores eléctricos y características litológicas. (Fig.2)

1.- Una zona superior entre los 0 y 20 m de profundidad con valores de resistividad muy variables de 14, 30 y 85 ohm.m que correspondería a niveles de granulometría variada, no saturados.

2.- Una zona que se manifiesta con buen desarrollo en el sector oeste, entre los 20 y 150 m aproximadamente, con valores altos, 50, 60, 80, 150 y 180 ohm.m. Corresponden a arenas y gravas gruesas, saturadas con agua de buena calidad. Disminuyen su potencia al este hasta desaparecer.

3.- Un horizonte de buen espesor caracterizado por valores muy bajos de 3, 5, 7 y 10 ohm.m. Corresponden a limos y arcillas que se encuentran por debajo de los 150/200 metros hasta los 300/350 m de profundidad.

4.- Un horizonte profundo, por debajo de los 300 m de

profundidad. Corresponde a arenas cuarzosas finas con valores eléctricos de 60 a 150 ohm.m en el sector oeste y 28, 35 y 68 ohm.m en el este de la zona.

Con una mayor densidad de puntos en la prospección geoelectrica, se podrán diferenciar los horizontes mencionados con mayor precisión, a fin de determinar los alcances del sistema acuífero superior, su desarrollo hacia el este y en profundidad las zonas de mayor interés de este acuífero múltiple.

De igual manera se podrá delimitar el sistema acuífero inferior hacia los bordes de la cuenca y sus espesores máximos, permitiendo determinar la base del mismo con terrenos de elevada conductividad eléctrica, como son las sedimentitas Miocenas en la zona.

HIDROGEOLOGÍA

La zona de estudio se encuentra en una región subtropical, con elevadas temperaturas en verano. Las precipitaciones estacionales se concentran en la ladera oriental de las sierras de La Ramada y del Campo, con valores de 900 mm anuales, decreciendo hacia el este hasta los 500 mm anuales en la zona de límite con Santiago del Estero.

El clima es templado, moderado lluvioso de inviernos secos no riguroso (Cwak) en la zona serrana y clima seco de estepa (Bshwa) característico de la llanura.

La zona pedemontana desarrollada entre las cotas de 700 y 500 m.s.n.m con materiales de elevada permeabilidad en los conos aluviales y buena cubierta vegetal, es la principal área de recarga de los acuíferos profundos.

Existe una gran cantidad de perforaciones utilizadas para abastecimiento de agua potable y uso agrícola - ganadero, con buena información litológica e hidroquímica. Algunas de ellas alcanzan hasta los 400 m de profundidad. (Fig.1)

En base a esta información y los resultados de los estudios geofísicos, hemos considerado la existencia de dos sistemas acuíferos principales.

El sistema acuífero superior, constituido por niveles múltiples de arenas y gravas, con clastos bien diferenciados de rocas metamórficas gris oscuro, intercalados con horizontes limo - arcillosos pardos, con un mayor desarrollo en la zona pedemontana y en el cono aluvial del río Tajamar, que alcanza hasta los 200 m de profundidad.

Presenta acuíferos de buena calidad y rendimientos del orden de los 100 a 200 m³/h, con caudales específicos de 7 a 10 m³/h/m. Los niveles estáticos varían de - 30 m.b.b.p a - 10 m.b.b.p. Aquí ubicamos las perforaciones de La Ramada, Taruca Pampa, Los Pempas, Benjamín Araoz y El Azul.

El sistema acuífero inferior, que se encuentra en toda el área deprimida, se encuentra a más de 200 m de

profundidad, por debajo de un potente horizonte limo - arcilloso pardo rojizo, que los métodos eléctricos lo detectan con valores de resistividad de 5 a 7 ohm.m

Los niveles acuíferos se alojan en arenas cuarzosas finas a medianas, blancas a amarillentas, tienen una permeabilidad baja y presión de surgencia natural (Garmendia + 24,50 m). En Santa Teresita y Prebrin se ubican entre los 350 a 400 m.b.b.p.

Este sistema acuífero abastece de agua a varias poblaciones y se utiliza principalmente para ganadería, por su bajo rendimiento y la facilidad de explotación por surgencia.

Es de destacar que hacia el este, desde la latitud de Pajas Coloradas, el segundo acuífero surgente presenta fenómenos geotérmicos, con temperaturas entre 38 °C y 41 °C como se determinó en Prebrin, Paso de La Patria, Garmendia, La Fortuna, etc.

El agua acrecienta su contenido en sales, llegando a determinarse valores de residuos secos de hasta 1092 mg/l en Santa Teresita, 1344 mg/l en Martín García, 1067 mg/l en La Fortuna, 832 mg/l en Garmendia, 1808 mg/l en Paso de La Patria y 966 mg/l en Pajas Coloradas.

CONCLUSIONES

Mediante el control litológico de las perforaciones y la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales realizados en fincas de la zona, se ha determinado un modelo conceptual para la cuenca hidrogeológica de Burruyacu, compuesta por dos sistemas acuíferos con horizontes múltiples.

El sistema acuífero superior de elevada permeabilidad, se encuentra en arenas y gravas gruesas con clastos de rocas metamórficas. Con un buen desarrollo en la zona pedemontana y parte de la llanura forman los conos aluviales, con espesores de hasta 150 m, atribuidos al Cuaternario.

Tiene niveles estáticos negativos y buenos caudales para su utilización en riego presurizado. La calidad es apta para abastecimiento a las poblaciones de la zona (La Ramada - Taruca Pampa - Benjamín Araoz) y cuenta con excelente recarga.

En el subsuelo se le identifica por sus elevados valores de resistividad con un límite superior de limos y loess no saturados y un límite inferior de limos y arcillas de elevada conductividad eléctrica.

El sistema acuífero inferior, constituido por arenas cuarzosas, finas a medianas, se encuentra en toda la extensión de la llanura, por debajo de los 200 m de profundidad, alcanzando en algunos casos los 350 a 400 m.

Es de menor permeabilidad, con valores eléctricos entre 20 y 60 ohm.m., que lo distinguen de los sedimentos suprayacentes con valores menores a 10

ohm.m.

Tiene buena presión que permite su explotación por surgencia natural, con un incremento en el contenido de sales, aunque es apto para ganadería y agua potable.

Se han determinado anomalías térmicas en la mayoría de los pozos en explotación con temperaturas entre 30 °C y 41 °C.

Consideramos que este modelo puede ser controlado mediante el uso de técnicas geofísicas programadas a fin de lograr una mejor correlación de los horizontes.

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo se hizo con fondos del Consejo de Investigaciones de la U.N.T. (C.I.U.N.T.). Los autores agradecen la colaboración del Geólogo Carlos D'Urso.

BIBLIOGRAFÍA

BARRIOS, C., 1994. Geología e Hidrogeología del Sector Central de la Sierra del Campo, entre las Localidades de "Puesto de Uncos" y "Chilcas", Departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán. (Inédito).

CASANUEVA, P., 1992. Geología e Hidrogeología del Borde Oriental de la Sierra del Campo, entre las Localidades de La Gramilla y La Mesada, Departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán.(Inédito).

D'URSO, C., 1990. Características Hidrogeológicas del Borde Oriental de la Sierra de La Ramada, entre la Localidad Homónima y Las Cejas, Departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán.(Inédito).

GONZÁLEZ, J., 1992. Geología e Hidrogeología de la Cuenca del Río Urueña, Departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán. (Inédito).

IBÁÑEZ PALACIOS, G., 1989. Características Hidrogeológicas

del Borde Oriental de La Sierras de La Ramada, entre la Localidad de El Barco y Gobernador Piedrabuena, Departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán.(Inédito).

MARTÍNEZ, S., 1998. Cuenca Hidrogeotermal de Burruyacu. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán.(Inédito).

RAMÍREZ, M., 1983. Geología e Hidrogeología de la Cuenca del Río Tajamar, entre El cajón y Garmendia, Departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán.(Inédito).

STAPPENBECK, R., 1921. Estudios Geológicos e Hidrogeológicos de la Zona Subandina de la Provincia de Salta y Tucumán. Anales del Ministerio de Agricultura de La Nación. Sección de Geología y Minería, Tomo XIV. N° 5.

TINEO, A., IGLESIAS, E., et al., 1989. Geochemical Survey Of The Llanura Tucumana Geothermal Area, Argentina. Geothermal Resources Council Transactions. Vol XIII. 165 - 171. C.A. (EUA).

TINEO, A., D'URSO, C., FALCON, C. y GARCÍA, J., 1992. Hidrogeología del Sector Oriental de la Sierra de La Ramada, Provincia de Tucumán, República Argentina. I Congreso Hidrogeológico Latinoamericano, Mérida. Venezuela.

TINEO, A., FALCON, C., GARCÍA, J., GALINDO, G., RODRÍGUEZ, G. y D'URSO, C., 1994. Ambientes Hidrogeológicos y Los Riesgos de Contaminación en la Provincia de Tucumán. Seminario sobre temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Universidad Nacional de Mar del Plata y CFI. P. 331 - 348.

TINEO, A., GARCÍA, J. y FALCON, C., 1992. El Cono Aluvial del Río Cajón, Provincia de Tucumán. Actas VI Congreso Geológico Chileno. T.(1): 373-422. Viña del Mar. Chile.

TINEO, A., GARCÍA, J., FALCON, C., APELLA, C., HIDALGO, M., RODRÍGUEZ, G. y D'URSO, C., 1997. Características Hidroquímicas de las Aguas Subterráneas del Cono Aluvial del Río Cajón, Provincia de Tucumán, República Argentina. VIII Congreso Geológico Chileno, 1997. Actas V. 1 p. 810 - 814.

TINEO, A. y PONTI, H., 1996. Estudio Hidrogeológico Estancia San José, Paso de La Patria, El Azul, Los Pempas, El Diamante, Dumit, Prebrin, Santa Teresita, Departamento Burruyacu, Provincia de Tucumán.(Inédito)