



## GEOHIDROLOGIA DE LA HOJA 3160-28 VILLA MARIA GRANDE PROVINCIA DE ENTRE RIOS, ARGENTINA

*Mario Fill \* , Ofelia Tujchneider \*\* , Marta Paris \*\* y Marcela Perez \*\**

**RESUMEN.** Se expone el resultado de la investigación geohidrológica desarrollada para contribuir al conocimiento del sistema hídrico subterráneo en la provincia de Entre Ríos. Se ha definido la hidroestratigrafía regional, compuesta por tres secciones hidrogeológicas, de las cuales la denominada sección media aloja al acuífero en explotación. Sobre la base de información de campo se ha elaborado la piezometría y definido caracteres hidráulicos formacionales e hidroquímicos.

**ABSTRACT.** Geohydrology of the Hoja 3160-28 Villa María Grande, Entre Ríos Province, Argentine.

In order to contribute to the knowledge of the Entre Ríos Province groundwater system, the results of the geohydrological research are presented here. The regional hydrostratigraphy allowed to define three hydrogeologic sections. One of them, the called middle section, stored the main aquifer. On the basis of the data obtained from the study area, the piezometry was elaborated, as well as the groundwater hydrochemic character. Also formational hydraulic parameters were defined.

### INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento de la geohidrología del área comprendida entre los 31° 20' -31° 40' S y los 59° 30' -60° 00' W (Hoja IGM 3160-28 Villa María Grande, Entre Ríos, Argentina).

Las investigaciones se desarrollan como parte de las actividades del Proyecto 03-03 Caracterización Geohidrológica de la Cuenca del Río Gualeguay, Entre Ríos, Argentina, de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad

\* Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.

\*\* Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. CONICET.

Nacional del Litoral.

Dado que sobre esta área no existen trabajos específicos previos, este constituye un aporte al conocimiento sobre la geohidrología de la región, desde un enfoque básico e integral.

Características generales: La Hoja Villa María Grande comprende una superficie de 1839 km<sup>2</sup>. Las principales vías de comunicación son las rutas nacionales 126 y 127, pavimentadas, que vinculan a Paraná con el norte y noreste de la provincia, respectivamente. El Ferrocarril General Urquiza y el camino de tierra que sigue el recorrido de las vías, pasan por todas las localidades que se encuentran en el ámbito de la hoja: Villa María Grande, El Pingo, Hasenkamp, Las Garzas y Alcaraz. A esto se agrega una densa red de caminos vecinales, intransitables en períodos lluviosos.

El paisaje muestra relictos de una llanura profusamente disectada por gran cantidad de cursos superficiales. Todos los terrenos por encima de cota 80 constituyen los interfluvios. Los remanentes más elevados de la planicie se encuentran entre cotas 80 y 90, conformando parte de lo que en la morfología de la región se conoce como Superficie Sobreelevada Feliciano-Federal (Cuchilla de Montiel), que constituye la principal divisoria de aguas: separa las cuencas que vierten hacia el río Paraná y hacia el río Gualeguay. Los cauces mayores y sus afluentes principales son de régimen permanente. En períodos con precipitaciones intensas el escurrimiento es torrencial acentuando la erosión en cárcava, principal proceso geomorfológico del área.

La información climatológica registrada para la ciudad de Paraná (31° 47'S-60° 29'W) del período 1941 - 1985, obtenida por el Servicio Meteorológico Nacional y el I.N.T.A. de Tezanos Pinto, sirvió de base para la caracterización climática y la clasificación del clima según Thornthwaite (Burgos y Vidal, 1951).

La región se encuadra dentro del tipo de clima subhúmedo-húmedo, con pequeña o nula deficiencia de agua, mesotermal. La precipitación media anual es del orden de 1000 mm, con el período más lluvioso en enero, febrero y marzo. La temperatura media anual es de 17,9° C, con máxima en enero de 31,9° C y mínima en julio de 7,45° C. La evapotranspiración real es de 850 mm/año y, para el período consignado, se manifiesta un exceso de 125 mm.

Síntesis Estratigráfica: Se ha tomado como referencia para la identificación de las unidades formacionales las contribuciones de Iriondo (1973, 1980); Iriondo y Rodríguez (1973); Aceñolaza (1976); Aceñolaza y Sayago (1980).

A excepción de la porción cuspidal de la Formación Hermandarias, el resto de las unidades estratigráficas son de subsuelo.

Formación Paraná (Mioceno Superior): Unidad de origen marino. Está representada por tres miembros: 1) inferior, constituido por arcillas verdes, compactas, de extensión regional. Sus espesores varían entre 5 y 10 m, ubicándose entre cotas -20 y -60, presenta tendencia a profundizarse de sur a norte; 2) intermedio, compuesto por arenas grises, medianas y finas, intercaladas con capas lenticulares de arcillas verdes y 3) superior, sucesión de arcillas verdes, are-

nas arcillosas y bancos calcáreos fosilíferos (Filí, 1983).

En el área, el miembro superior y parte del intermedio han sido erosionados, por lo que las perforaciones localizan al miembro inferior entre cotas 10 y -2.

Formación Ituzaingó (Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior): La componen arenas medianas con niveles de grava fina, blanquecina en la parte basal; arenas finas ocráceas en la parte media y arenas muy finas con delgadas intercalaciones de arcilla gris en la parte superior, con infiltraciones de carbonato de calcio. De origen fluvial; apoya discordantemente sobre la Formación Paraná; su potencia máxima es del orden de los 20 m y su techo se localiza alrededor de cota 30.

Formación Alvear (Pleistoceno Superior): Corresponde a la descripción formal de depósitos de constitución calcárea (tosca) y arcillosa, localizables en las barrancas de Entre Ríos entre cotas 30 y 35. En las perforaciones del área se localiza entre cotas 29 y 31, con espesor máximo de 10 m.

Formación Hernandarias (Pleistoceno Superior): Es una unidad continental, originada en ambientes lacustres y palustres, que cubre gran parte de la Provincia de Entre Ríos. Está constituida por arcillas grises con yeso en proporciones importantes en la parte basal, pasando a pardo rosada con carbonato de calcio, hacia el sector superior. Las perforaciones localizadas en la Cuchilla de Montiel presentan los mayores espesores de la formación, con más de 60 m.

## MATERIAL Y METODOS

Las características estratigráficas e hidrogeológicas se han obtenido a partir de perforaciones realizadas para la provisión de agua en las localidades de Villa María Grande, El Pingo, Hasenkamp, Estancia San Jorge, Las Garzas, Estancia 3 de Febrero y Alcaraz; en general sobrepasan los 90 m, comprendiendo parcial o totalmente al acuífero principal.

El comportamiento hidrodinámico se determinó mediante información piezométrica obtenida de mediciones realizadas en 36 pozos.

Los parámetros hidráulicos formacionales se han adoptado por analogía con los logrados mediante ensayos por bombeo en la misma unidad acuífera, en áreas vecinas a la Hoja. En el caso particular de la conductividad hidráulica ( $k$  [m/día]) se efectuaron valoraciones aplicando fórmulas granulométricas desarrolladas para la región (Filí, 1985), a los datos del análisis sedimentológico de las perforaciones de Estancias San Jorge y 3 de Febrero, realizadas por Agua y Energía S.E.

Las características hidrogeoquímicas se conocen a través del análisis de 49 muestras de agua con determinación de aniones y cationes principales: carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, calcio, magnesio, sodio, potasio, conductividad eléctrica y residuo seco. Estos datos fueron procesados para definir tipos de agua para lo cual se utilizaron las clasificaciones de Piper-Hill y Schöeller (Custodio y Llamas, 1976).

De acuerdo a la metodología propuesta por el U.S. Salinity Laboratory (Custodio y Llamas, *op.cit.*); utilizando el va-

lor de Relación de Adsorción Sodio (RAS) y la cantidad total de sales, representadas por la conductividad eléctrica (CE en mmhos/cm), se obtiene la aptitud para riego. Se determinó además su aptitud para consumo de ganado.

Para conocer en que medida la composición de estas aguas pueden afectar a las obras de captación y distribución, o a equipos industriales, se ha realizado un análisis de los factores que determinan si son predominantemente corrosivas, incrustantes o neutras. Para ello se ha calculado el Índice de Estabilidad de Ryznar (Johnson, 1975).

## RESULTADOS

### Hidrogeología

Tomando como base la síntesis estratigráfica y criterios sustentados en trabajos previos, Tujchneider y Filí (1983), se ha dividido la secuencia sedimentaria del noroeste de Entre Ríos en tres secciones hidrogeológicas: inferior, media y superior.

**Sección inferior:** En el ámbito de la Hoja, probablemente las arcillas verdes del fondo de las perforaciones El Pingo y Villa María Grande, por debajo de cota cero, correspondan a su techo. La referencia más cercana está en Viale, unos 25 km al suroeste de Villa María Grande. En esa localidad, la perforación para agua potable ejecutada por Agua y Energía S.E, entró en las arcillas verdes basales a la profundidad de 84,5 m, aproximadamente cota -1,5 y, desde 87 hasta 100,6 m (fondo de pozo) en arcillas marrones plásticas, con calcáreo. El carácter de la unidad es predominantemente acucluida.

**Sección Media:** Regionalmente su techo se localiza con cierta regularidad alrededor de cota 30. Sin embargo, las perforaciones analizadas muestran variaciones, en algunos casos muy significativas (Fig. 1).

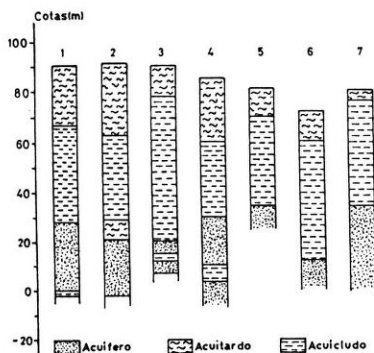


Fig. 1: Columnas hidrogeológicas. 1- Villa María Grande, 2- El Pingo, 3- Hasenkamp, 4- Ea. San Jorge, 5- Las Garzas y 6- Ea. 3 de Febrero.

En María Grande se presenta un pasaje neto al acuífero principal (segunda capa) a cota 28, con nivel piezométrico 46. En El Pingo hay un metro de arena a cota 30, pero la capa productiva principal comienza a cota 21 luego de 8 m de arcilla; la piezometría en ambos niveles asciende a cota 37. En Hasenkamp, capas de arenas, poco potentes separadas por arcillas se presentan desde cota 17 hacia abajo, con nivel piezométrico de 41 m. En Estancia San

Jorge, Las Garzas y Alcaraz el techo del acuífero se localiza entre cotas 30 y 34.

Próximo a estas localidades, en la Estancia 3 de Febrero, a cota 34 hay una capa de arena y grava de un metro, pero al acuífero principal se lo alcanza a cota 12.

De acuerdo a las características descriptas, la sección en su conjunto se comporta como un acuífero multiunitario.

Sección Superior: Compuesta por formaciones de baja conductividad hidráulica y con espesores que varían entre 10 y 70 m, constituye una cubierta, regional confinante o semiconfinante para el acuífero principal. Tanto la hidrodinámica como la hidroquímica de este se muestran condicionadas por esta sección, que se comporta como acuitarda en la parte superior y acentúa su carácter acuclada hacia la base. En los primeros 20 m suelen encontrarse capas acuíferas discontinuas y de bajo rendimiento.

### *Aguas subterráneas*

En el ámbito de la Hoja se han identificado dos niveles acuíferos de diferente importancia.

Una primera capa, de yacencia muy irregular, se aloja en estratos relativamente más permeables dentro de la potente cubierta acuitarda. El agua se extrae de pozos excavados, de una profundidad entre 5 y 20 m, mediante balde, bomba de mano y rara vez, molinos. Debido al bajo rendimiento y carácter salobre de sus aguas, estas captaciones son poco numerosas.

La segunda capa constituye el acuífero principal, alojado en las arenas de la Formación Ituzaingó. Se explota me-

dante molinos de viento o motobombardadores, en perforaciones que llegan hasta el techo de dicha formación (alrededor de cota 30). Aproximadamente el 85% de las captaciones penetran de 6 a 12 m (uno o dos caños) y sólo muy pocas alcanzan cotas entre 10 y 0.

Como puede observarse en el mapa isopiécico (Fig. 2), las curvas isopotenciométricas decrecen hacia el río Paraná y hacia el río Gualeguay, desde una faja que cruza diagonalmente la Hoja, con alturas piezométricas algo superiores a 45. El gradiente es mayor en el sentido noroeste.

Si se tratara de un acuífero libre, la zona de divisoria podría interpretarse como de recarga. En este caso el grado de confinamiento varía arealmente, los niveles piezométricos más altos se corresponden con la mayor potencia de tapada. Las curvas isopotenciométricas descienden hacia las áreas más degradadas por la erosión. Fuera del marco de la Hoja, hacia el río Paraná, las cárcavas se profundizan hasta penetrar en el techo de las arenas (Formación Ituzaingó); allí y en las barrancas, como se insinúa en el extremo noroccidental del mapa, el nivel de saturación está por debajo de cota 30 y el acuífero se comporta como libre.

Las variaciones espaciales en constitución y potencia de las formaciones que sobreyacen al acuífero principal, le confieren a este un alto grado de complejidad, tanto en su comportamiento hidrodinámico como hidrogeológico. El origen de las aguas así como los procesos de su mineralización son objeto

de investigaciones geohidroquímicas e isotópicas por parte de uno de los autores. De los resultados de tales estudios se podrá precisar sobre el particular.

### *Hidroquímica*

**Clasificación de Piper-Hill:** De ella resulta que el 86% de las aguas son bicarbonatadas sódicas y el 14% restante corresponde a cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

**Clasificación de Schöeller:** Se reconocieron 13 familias, dos de las cuales abarcan la mayoría de las muestras consideradas (70%). De estas, un 55% de las aguas corresponden a cloruradas normales, sulfatadas normales, hipercarbonatadas con índices de cambio de base negativo (con  $\text{Ca} < \text{CO}_3\text{H}$  y  $\text{CO}_3\text{H} < \text{Mg} + \text{Ca}$ ). En cuanto a la importancia de aniones y cationes corresponden a:  $\text{CO}_3\text{H} > \text{Cl} > \text{SO}_4$ ;  $\text{Na} + \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ . Un 15% de las aguas son cloruradas normales, sulfatadas normales, hipercarbonatadas, con índice de cambio de base negativo (con  $\text{Ca} < \text{CO}_3\text{H}$  y  $\text{CO}_3\text{H} < \text{Mg} + \text{Ca}$ ). En cuanto a la importancia de aniones y cationes corresponden a:  $\text{CO}_3\text{H} > \text{Cl} > \text{SO}_4$ ;  $\text{Na} + \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ .

**Aptitud para consumo humano:** De los macrocomponentes de las aguas analizadas sólo el sulfato excede el límite de potabilidad (300 mg/l) que especifican las normas. Los tenores más elevados de este ion se localizan en el sector oriental de la Hoja.

**Aptitud de las aguas para riego:** Según los valores de Carbonato de Sodio Residual (CSR), se obtuvo un 85% de aguas malas, un 12% de buenas y 3% dudosas. En cuanto a su calidad para

riego en función de la conductividad eléctrica y el RAS, se determinó que el 71% pertenece al tipo C3-S2, 8% al C3-S3, 10% al C4-S3 y el 11% restante pertenece a los tipos C2-S1, C4-S2 y C4-S4, por lo que presentan peligro medio de sodificación y son altamente salinas.

**Índice de desequilibrio cloro-alcálico (IDD)** indica que  $\text{Na} + \text{K} > \text{Cl}$ , por lo que puede verificarse un enriquecimiento del agua en sodio y potasio y una disminución del contenido de Mg y Ca, con el consiguiente peligro de sodificación.

**Aptitud para consumo animal:** Se ha podido establecer que el 100% de las muestras son aptas para el consumo animal.

**Aptitud para uso industrial:** De la aplicación del índice de Ryznar surge que el 51% de las muestras se corresponde con aguas neutras y el resto (49%) es incrustante.

### *Parámetros hidráulicos y estimación de reservas*

Los parámetros hidráulicos formacionales se han adoptado por analogía entre las características de la unidad acuífera en la Hoja, con las perforaciones realizadas en localidades próximas donde pudieron efectuarse ensayos por bombeo (Viale, Curtiembre, Pueblo Brugo, entre otras). Asimismo, se han realizado determinaciones basadas en granulometría de arenas obtenidas de perforaciones con muestreo continuo (Estancias San Jorge y 3 de Febrero). Para fines prácticos pueden adoptarse los siguientes valores medios: Conductividad Hidráulica (K): 30 m/día; Transmisividad (T): 600 m<sup>2</sup>/día y Coeficiente de Almacenamiento (S): 10<sup>-3</sup>.

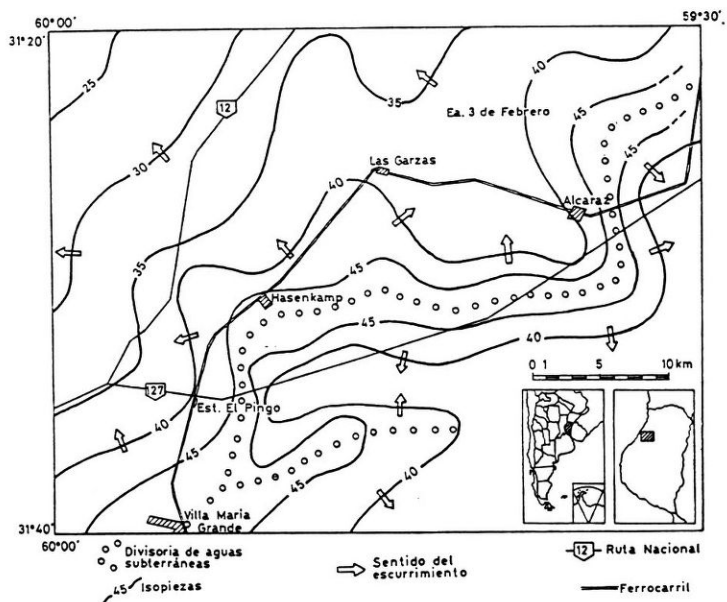


Figura 2: Geohidrogeología de la Hoja 3160-28. Villa María Grande (Entre Ríos)

Dadas las características hidrolitológicas de las formaciones investigadas, se considera adecuado emplear para el cálculo de las reservas un espesor medio de acuífero de 20 m. Por ello, el volumen total de agua en el ámbito de la Hoja es del orden de los 37 hm<sup>3</sup>.

#### CONCLUSIONES

El sistema investigado constituye una porción de un acuífero de extensión regional, que excede los límites de la Hoja 3160-28.

La variabilidad espacial que presentan las formaciones estratigráficas identificadas en el área, tanto en constitución como en espesor, determina condiciones hidrogeológicas complejas.

El comportamiento hidráulico e hidroquímico del acuífero principal está fuertemente condicionado por la cubierta acucluida-acuitarda, que determina la variación areal tanto del grado de confinamiento como del quimismo.

Los mayores valores de piezometría, superiores a 45, no constituyen un área de recarga sino que están determinados por la máxima potencia de tapada. De modo que, a pesar que el balance hídrico indique valores de exceso, ello no debe tomarse como estimación de recarga.

Las características hidráulicas señalan un acuífero de moderado rendimiento.

Por todo lo expuesto, para la utilización de este recurso deberá considerársele bajo el concepto de minería del agua subterránea. Las extracciones intensivas tendrán que ser cuidadosamente planificadas y monitoreadas para evitar que produzcan un progresivo vaciado del acuífero, por consumo de reservas.

La complejidad del sistema requiere de investigaciones geohidrológicas de mayor detalle, mantenidas a lo largo del tiempo, tendientes a cuantificar el grado de renovabilidad de las aguas subterráneas.

## REFERENCIAS

Aceñolaza, F. G., 1976. Consideraciones bioestratigráficas sobre el Terciario Marino de Paraná y alrededores. *Acta Geol. Lilloana* 13 (2): 91-108. Tucumán.

Aceñolaza, F. G. & J. M. Sayago, 1980. Análisis preliminar sobre la Estratigrafía, Morfodinámica y Morfogénesis de la Región de Villa Urquiza, Provincia de Entre Ríos. *Acta Geol. Lilloana* 15 (2):139-154. Tucumán.

Burgos J. J. & A. L. Vidal, 1951. Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros. Revista de Meteorología y Geofísica del Servicio Meteorológico Nacional*. Buenos Aires. Año 1, número 1. Páginas 3-32.

Custodio E. & M. Llamas, 1976. Hidrología Subterránea. *Ediciones Omega*. Tomos 1 y 2, 2359 p.

Filí, M. F., 1983. Hydrogeology of the "Paraná Medio" region. Effects of the Southern reservoir upon groundwaters. *Proc. Int. Symp. Groundwater in Water Resources Planning. UNESCO. IAH. IAHS*. 1: 91-101. Koblenz.

Filí, M. F., 1985. Relación entre Conductividad Hidráulica y Granulometría en Arenas de la Región del Paraná Medio. *Mem. XII Congr. Nac. del Agua*. Mendoza.

Irlondo, M. H., 1973. Análisis Ambiental de la Formación Paraná en su Area Tipo. *Asoc. Geol. de Córdoba. Rev. 2* (1-2):19-23. Córdoba.

Irlondo, M. H. & E. D. Rodríguez, 1973. Algunas Características Sedimentológicas de la Formación Ituzaingó entre La Paz y Brugo. *Actas V Congr. Geol. Arg.*: 317-331 Buenos Aires.

Irlondo, M. H., 1980. El Cuaternario de Entre Ríos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 11: 125-144. Santa Fe.

Johnson, E.E. Inc., 1975. El agua subterránea y los pozos. *Johnson Division UOP Inc. Saint Paul*, Minnesota, 513 p.

Tujchneider, O. C. & M. F. Filí, 1983. Aspectos Geohidrológicos del Noroeste de la Provincia de Entre Ríos. *XI Congr. Nac. del Agua. Aguas Subterráneas*: 71-83. Córdoba.