

Síntesis Geológica e Hidrogeológica del noroeste de la provincia de Entre Ríos - República Argentina

M. F. Filí

Grupo de Investigaciones Geohidrológicas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.
Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina. C.C.217.3000. Santa Fe.
E-mail: gig@fich.unl.edu.ar

RESUMEN

Se presentan en esta contribución los aspectos geológicos e hidrogeológicos que forman parte de un trabajo mayor, el cual tuvo como objetivo contribuir al conocimiento de los sistemas acuíferos y de sus unidades asociadas (acuitardos, acuícludos) en una gran extensión del subsuelo de la Provincia de Entre Ríos, Argentina. El objetivo principal del trabajo fue realizar el estudio detallado de un área representativa de un importante sector de la provincia, en la que las características geológicas determinan condiciones geohidrológicas complejas.

Palabras clave: geología, hidrodinámica, hidrogeología regional

Geology and hydrogeology of northwestern Entre Ríos province - Argentina

ABSTRACT

This contribution contains the geological and hydrogeological aspects of a bigger research that had as objective to contribute to the knowledge of the aquifer systems and their associated units (aquitards, aquicludes) in a large area of the subsurface of the Entre Ríos province, Argentina. The main objective was to carry out the detailed study of a representative area of an important sector of the province, in which the geological characteristics determine complex geohydrological conditions.

Key words: geology, hydrodynamics, regional hydrogeology

Introducción

La Provincia de Entre Ríos se encuentra situada en el sector nororiental del País, dentro de la denominada Mesopotamia Argentina, entre los 30° 9' y 34° 2' de latitud sur y entre los 57° 48' y 60° 47' de longitud oeste, (Figura 1). Al norte limita con la Provincia de Corrientes; al oeste y suroeste con la Provincia de Santa Fe; al sur, con la Provincia de Buenos Aires y al este con la República Oriental del Uruguay. Tiene una superficie de 78.781 km² y una población de 1.020.257 habitantes, según el último censo.

El área objeto se localiza en el sector noroccidental de la Provincia, entre las ciudades de Paraná al sur y La Paz al norte. Representa a las condiciones hidrogeológicas de una superficie de aproximadamente 8000 km², comprendida por las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) a escala 1:100.000: 3160 - 16 "La Paz"; 3160 - 17 "Villa San Gustavo"; 3160 - 22 "Hernadarias"; 3160 - 23 "Sauce de Luna"; 3160 - 27 "Villa Urquiza" y 3160 - 28 "Villa

María Grande". Tiene como límite oeste al Río Paraná y como límite E al meridiano de 59° 00.'

Los aportes principales sobre el tema de las aguas subterráneas en el territorio de la provincia de Entre Ríos datan de dos períodos separados por más de 30 años. Los primeros antecedentes, realizados mayormente entre 1920 y 1950, se componen de perfiles de perforaciones, algunos informes inéditos donde se consignan datos diversos sobre aguas subterráneas en las principales localidades de la provincia y pocos trabajos publicados de reducida circulación. A este período corresponde la mayoría de las perforaciones con información confiable y fueron realizadas por los organismos pioneros en la exploración de las aguas subterráneas en Argentina: Ferrocarriles del Estado, Dirección Nacional de Geología y Minería, y Obras Sanitarias de la Nación.

Entre 1975 y 1981 Agua y Energía S.E. realizó en el área estudios geológicos e hidrogeológicos para el proyecto hidroenergético multipropósito "Paraná Medio". El autor, como Jefe de Geología e Hidrogeo-

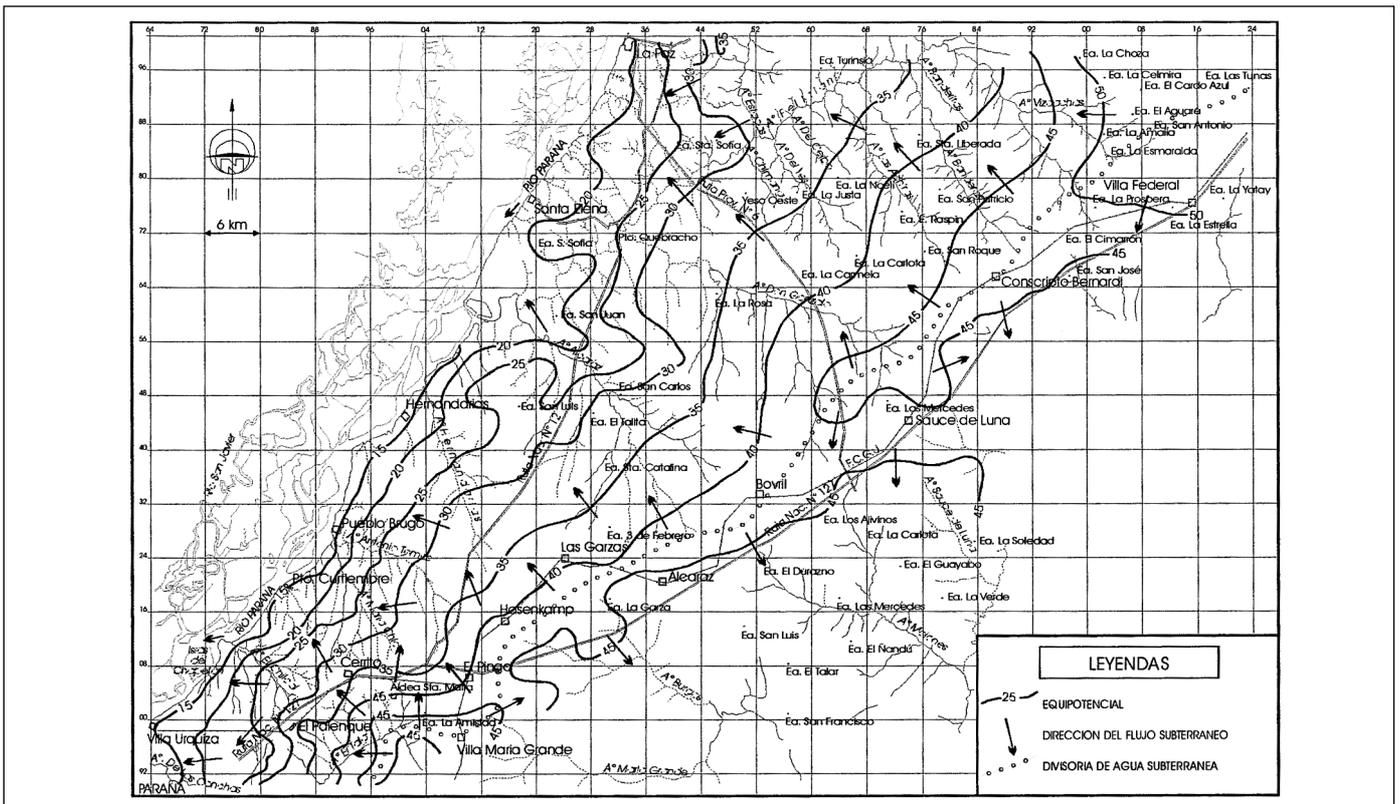


Fig. 1. Mapa isopieicico regional

Fig. 1. Regional piezometric map

logía del mencionado proyecto, efectuó en ese lapso, entre otras investigaciones, el levantamiento hidrogeológico de las hojas del I.G.M. que cubren y exceden el ámbito de estudio. Otros estudios hidrogeológicos que comprenden a parte de la región considerada fueron realizados a partir de 1977, por el autor y sus colaboradores en el marco de proyectos de investigación que se desarrollan en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Los estudios mencionados precedentemente han permitido obtener un gran volumen de información hidrogeológica, en parte difundida a través de publicaciones tales como Filí (1983), Tujchneider y Filí (1983) y Tujchneider y Filí (1988), entre otras.

Características Físicas de superficie

Morfología: La región presenta un paisaje ondulado, profusamente disectado por ríos y arroyos, tributarios del Río Paraná. Los procesos de remoción en masa, escurrimiento superficial y subterráneo, géne-

sis y evolución de los suelos, están estrechamente condicionados a los caracteres particulares de la secuencia estratigráfica aflorante.

Analizando la génesis de los elementos del relieve, dentro de un paisaje relativamente homogéneo, destacan cuatro elementos morfológicos principales: los remanentes de una antigua superficie estructural disecada; las explanadas del valle fluvial; los relictos de un antiguo sistema fluvial sepultado por una cubierta loésica y los sistemas fluviales actuales desarrollados sobre los pre-existentes (Aceñolaza y Sayago, 1980).

La antigua superficie estructural disecada está constituida por las áreas de relieve plano a suavemente ondulado, que constituyen la divisoria de aguas de los sistemas fluviales que tributan al río Paraná. Los autores mencionados precedentemente la han denominado "superficie estructural" debido a la uniformidad de condiciones litológicas y de yacencia derivadas de la Formación Hernandarias, sobre la que se ha desarrollado. Con posterioridad a la deposición, constituida por limos y arcillas fluvio-lagunares, sobrevino un cambio climático a partir del cual

comienza a ser biselada por las acciones fluviales que darán origen al conjunto de valles y vallonamientos que caracterizan el relieve actual.

Las explanadas de valle fluvial son superficies aplanadas, de gradiente entre 1° y 5° constituyen las pendientes de las "cuchillas" o vallonamientos desarrollados sobre la primitiva superficie de la Formación Hernandarias. La génesis de estas formas se atribuye a una acción fluvial atenuada, bajo clima árido estacional en que la intensificación del escurrimiento concentrado durante cortos períodos húmedos, facilitaba la incisión vertical, mientras el escurrimiento mantiforme de la estación seca llanurizaba las explanadas. La influencia tectónica en el relieve es poco evidente y se manifiesta en el perfil asimétrico y diseño rectilíneos, tal como ocurre con los arroyos Feliciano y Don Gonzalo, entre otros.

El paleosistema fluvial sepultado: se percibe en los mapas planialtimétricos y en las fotografías aéreas que el diseño de los valles que dominan el relieve no coincide con las actuales corrientes activas. Esto indica la existencia de un antiguo sistema fluvial de mayor dinámica que definió las líneas directrices del sistema actual.

El sistema fluvial actual presenta cauces caracterizados por llanuras de inundación poco desarrolladas, salvo en las desembocaduras, donde es visible un bien definido diseño de terraza.

Estratigrafía

Como marco de referencia al posterior tratamiento de la columna hidroestratigráfica se expone la secuencia estratigráfica regional. Se lo hace desde las rocas que componen al basamento cristalino hasta la actualidad. Debido a que en las provincias de Mesopotamia (Misiones, Corrientes y Entre Ríos) hay formaciones aflorantes con edades que van desde el Mesozoico hasta la actualidad, la parte superior de la columna geológica fué estudiada por numerosos autores a partir de D'Orbigny (1846). Son particularmente importantes entre otros los trabajos de Aceñolaza, Herbst, Iriondo y Padula, que se citan más adelante. Sobre la base de estos aportes se ha compuesto la estratigrafía que se desarrolla a continuación.

Basamento cristalino

En el subsuelo de la provincia de Entre Ríos, las rocas ígneas y metamórficas que pertenecen al basamento cristalino, se han localizado mediante perfora-

ciones a profundidades variables, entre 600 a 470 m (cota aproximada -450 m). Se le asignan edades que van desde el Precámbrico al Paleozoico inferior (Padula, 1972; Montaña *et al.*, 1998).

Paleozoico

Formación Sachayoj (Carbonífero superior): está constituida por arcilitas de colores castaño oscuro y gris claro, algo calcáreas en la base, pasando hacia el techo a areniscas blanquecinas y verdosas. Según Padula (1972) se encuentra en la parte occidental de la provincia, donde fué alcanzada por la perforación realizada por Y.P.F. cerca de Nogoyá, en El Pueblito.

Formación Charata (Carbonífero superior): integrada fundamentalmente por sedimentos glaciales y fluvioglaciales en la base; en la parte superior presenta alternancia de arcilitas, lutitas e intercalaciones de areniscas y calcáreos. Fué atravesada por la perforación de Salto, en la margen izquierda del río Uruguay (ROU) (Padula, 1972).

Formación Chacabuco (Pérmico inferior): está compuesta por arcilitas y lutitas grises en la parte basal y limonitas arenosas, de tonalidad rojiza en la parte superior. Su presencia en subsuelo de la provincia sería coincidente con la distribución de la Formación Charata (Padula, 1972).

Mesozoico

Formación Buena Vista (Triásico superior): constituida predominantemente por areniscas cuarzosas, coloración rojo ladrillo, con alternancia de bancos calcáreos y lutitas en la base. Presenta estratificación entrecruzada y granos redondeados esmerillados; fue depositada por la acción eólica bajo condiciones de clima semidesértico (Padula, 1972).

Formación Tacuarembó (Jurásico): estas areniscas, de características semejantes a las de la Formación Buena Vista son muy importantes desde el punto de vista hidrogeológico en Brasil y Uruguay donde afloran; además se encuentran en el Este de la Provincia de Entre Ríos. Conforman una de las reservas de aguas subterráneas más importantes del mundo. En territorio de la provincia de Entre Ríos el techo de las areniscas infrabasálticas desciende de noreste a sudoeste, desde cotas -600 m hasta -1.300 m en la zona de Nogoyá-General Ranmirez y desaparecen más al sur por razones estructurales (Montaña *et al.* 1998). En Federación el techo de las arenas se halló a cota -747 m; en Colón a -811 m y en Villa Elisa a -890 m. En Concepción del Uruguay, por debajo de los basaltos se encuentran rocas del basamento.

En el oeste de Entre Ríos por perforaciones, su presencia se detecta a profundidades variables entre 800 y 900 metros. Las areniscas fueron alcanzadas por perforaciones también en el subsuelo de las provincias de Santa Fe, Córdoba y Santiago del Estero, pero no se ha comprobado que allí sean acuíferas.

Formación Serra Geral (Cretácico inferior): esta Formación se encuentra constituida por potentes derrames de basaltos que cubren una superficie superior a 1.000.000 km². En Entre Ríos solamente afloran en el sector noreste, en una delgada faja aldeaña al río Uruguay. En Federación los basaltos están aflorando a cota 42 m y tienen un espesor de 790 m; en Concordia se atravesaron 900 m, en Colón 602 m y en Villa Elisa 592 m.

En las dos últimas localidades el techo de los basaltos se encuentra a cotas -209 m y -298, respectivamente. Hacia el río Paraná el techo de los basaltos se va profundizando y los espesores decrecen. La perforación Estacas N° 1 lo alcanzó a la profundidad de 386 m (cota -320 m); a orillas del Paraná, entre Pueblo Brugo y Villa Urquiza, mediante sismica de refracción realizada por Agua y Energía, se detectó a profundidades variables entre 520 m y 670 m (Tujchneider y Filí, 1988).

Formación Yerúa (Cretácico superior): la Formación Yerúa está compuesta por arenas y areniscas conglomerádicas de tonalidad predominantemente rojiza. Aflora en la porción nororiental de la Provincia de Entre Ríos, en proximidades del río Uruguay (Herbst, 1971) y fué alcanzada por perforaciones en Salto Chico y Colón (Gentili y Rimoldi, 1979). En la arrocera El Yacaré (San Jaime de la Frontera), se encontraron arenas rojizas, medianas con rodaditos de arena fina aglomerada, desde 84 m hasta 100 m; sedimentos semejantes hay en San José de Feliciano entre 125 m y 138 m (fondo de pozo) y desde 285 m hasta 386 m en Estacas, único lugar en que fué atravesada totalmente. Stappenbeck (1926) menciona la presencia de sus "areniscas superiores" a 422 m de profundidad en una perforación realizada en Santa Elena, a orillas del río Paraná, correlacionables con lo descrito anteriormente.

Formación Pay Ubre (Cretácico superior): esta unidad está integrada por areniscas calcáreas y calcáreos arenosos parcialmente silicificados, que afloran en proximidades de Mercedes y Felipe Yofré, Corrientes, y Colón, Entre Ríos (Herbst, 1980). Por semejanzas litológicas y ubicación en la columna sedimentaria posiblemente se correspondan con esta unidad las areniscas calcáreas muy duras atravesadas en San Jaime de la Frontera entre 48 m y 84 m y en Los Conquistadores por debajo de los 56 m. También en Estacas se perforaron areniscas calcáreas

entre 195 m y 285 m bbb. En Santa Elena, la parte media y superior de las "arcillas superiores" de Stappenbeck (op. cit), compuesta por "arcilla roja y marga con intercalaciones de arena roja y areniscas" probablemente constituyan una transición entre Pay Ubre y la Formación Mariano Boedo -Cretácico Superior a Paleoceno, descrita para el subsuelo de la llanura chaco-pampeana (Padula y Mingramm, 1968; Russo, Ferello y Chebli, 1979).

Cenozoico

Formación Fray Bentos (Oligoceno inferior a medio): la Formación Fray Bentos está compuesta por areniscas y limos calcáreos de coloración rosado-anaranjada. Aflora en la parte central y sudoriental de la provincia de Corrientes y noreste de la de Entre Ríos hasta Concepción del Uruguay; en el subsuelo fué localizada por numerosas perforaciones en las áreas que bordean a los afloramientos basálticos (Herbst, 1971, 1980; Herbst, *et al.*, 1976; Santa Cruz, 1981; Herbst y Santa Cruz, 1985). En el subsuelo del área de estudio debe corresponder a Fray Bentos lo descrito por los perforistas como "arcilla roja terrosa disgregable", "arcilla limosa rosada" o "limo arenoso rosado" que en las perforaciones de San Jaime de la Frontera, Los Conquistadores y San José de Feliciano se encuentran aproximadamente a cotas 45 m, 42 m y 34 m, con espesores de 22 m, 24 m y 13 m respectivamente. Hacia el oeste, las perforaciones que superan a las arcillas verdes basales de la Formación Paraná, entran en arcillas pardas y rosadas, en parte calcáreas, con abundancia de yeso, semejantes a las que en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires se conoce como "Mioceno Rojo" (Groeber, 1945) o Formación Olivos (Yrigoyen, 1975). Herbst (1980) señala la posibilidad de que Fray Bentos tenga relación con la Formación Chaco (Eoceno-Mioceno) integrada por "areniscas y pelitas de colores rojizos y morados" (Russo, *et al.*, op. cit.). Todas las evidencias señalan que estos sedimentos se profundizan hacia occidente haciéndose la secuencia más pelítica y más potente. En Estacas se atravesaron 98 m de arcillas pardas yesíferas a partir de cota -32 m y las mismas fueron alcanzadas por las perforaciones de Agua y Energía a cotas -56 m, en La Paz, -70 m en Santa Elena y -64 m en Hernandarias (Tujchneider y Filí, op. cit).

Formación Paraná (Mioceno superior): la Formación Paraná está constituida por depósitos marinos que se encuentran en todas las cuencas sedimentarias del este y noreste argentino, desde Barranca Final, provincia de Río Negro hasta

Paraguay (Camacho, 1967; Yrigoyen, 1975; Russo, *et al*, op. cit., entre otros). En la región mesopotámica los sedimentos del mar miocénico fueron tratados por numerosos autores desde mediados del siglo pasado hasta la actualidad y aún subsisten algunas discrepancias en las interpretaciones estratigráficas. Para citar solamente a algunos de los aportes más modernos, hay quienes consideran a los depósitos marinos como una unidad (Iriondo, 1973; Aceñolaza, 1976) y quienes tratan bajo el nombre de Formación Paraná a las arcillas verdes basales y Formación Entre Ríos, a las arenas calcáreas fosilíferas que se les superponen, entre los que cabe mencionar a Russo, Ferello y Chebli (op. cit). Gentili y Rimoldi (op.cit), llaman a estos sedimentos Formación Pueblo Brugo. Los geólogos del Proyecto Paraná Medio de Agua y Energía, basados en gran cantidad de información de superficie y subsuelo, consideraron a la Formación Paraná integrada por tres miembros: Un miembro basal de arcillas verdes con macro y micro fósiles, poco potente pero de extensión regional, que sobreyace a arcillas pardas con yeso continentales; un miembro intermedio, constituido predominantemente por arenas grises, finas y medianas, con intercalaciones lenticulares de arcilla verde, algo arenosa y con microfósiles y, finalmente un miembro cuspidal integrado por niveles de arcillas arenosas, calcáreas y bancos conglomerádicos fosilíferos. Los dos primeros miembros se han detectado en todas las perforaciones realizadas en la región, mientras que el último sólo es observable con continuidad en afloramientos desde Paraná hacia el sur hasta Victoria (Filí, 1983). En el área de este estudio por lo general están presentes los miembros basal e intermedio, debido a que desde la ciudad de Paraná hacia el norte la parte superior fué erosionada por el gran sistema fluvial que originó a la Formación Ituzaingó. Según los datos disponibles hasta el presente, el límite oriental de la Formación Paraná en el subsuelo del sector noroccidental de la provincia sería aproximadamente coincidente con el meridiano de 59° oeste. El miembro basal, compuesto por arcillas verdes, se encuentra en Estacas a cota -12 m y tiene 20 m de espesor; a lo largo de la márgen izquierda del río Paraná se localiza a las siguientes cotas: La Paz -55 m, Santa Elena -46 m, Hernandarias -44 m, Pueblo Brugo -37 m, Puerto Curtiembre -35 m, Colonia Celina -34 m. Los espesores oscilan entre 15 m y 25 m; regionalmente se profundiza hacia el oeste y el norte. El miembro intermedio, predominantemente arenoso, fué alcanzado a las siguientes cotas: Federal 24 m, Sauce de Luna 16 m, Bovril 17 m, Alcaraz 20 m, Pueblo Brugo 16 m, Hernandarias 7 m, Santa Elena 8 m, La Paz 11 m y Estacas 21 m, con espesores de entre 33 m y 66 m.

Formación Ituzaingó (Plioceno inferior-Pleistoceno superior): esta unidad es de origen fluvial; es equivalente a la Formación Puelches, descrita para el subsuelo de Chaco, Santa Fe y Buenos Aires. Está constituida predominantemente por arenas finas y medianas de color amarillo ocre y limos grises. La secuencia es fina y muy fina en la parte superior, donde presenta una alternancia de finísimas capas de limos arcillosos y limos arenosos; hacia la base las arenas se tornan más limpias y aumentan de tamaño. Son fundamentalmente cuarzosas, con cantidades menores de feldespatos, micas, magnetita y otros máficos (Iriondo y Rodríguez, 1973). En el noroeste de Entre Ríos su techo se encuentra con cierta regularidad alrededor de cota -35 m; aflora en las barrancas del río Paraná y sus proximidades, en los sitios en los que la erosión ha eliminado a las unidades más modernas. Los espesores por lo general no superan los 20 m.

Formación Alvear (Pleistoceno): a lo largo de la mayor parte de las barrancas del río Paraná, desde La Paz hacia el sur, por encima de la Formación Ituzaingó hasta Paraná y de ahí en adelante sobre la Formación Paraná, aflora un horizonte calcáreo cuyo espesor generalmente no sobrepasa los 5 m. Aceñolaza y Sayago (1980) en un estudio realizado en la región de Villa Urquiza, al tratar sobre esta unidad lo hacen dubitativamente bajo la denominación de Formación Yupoí, designación formal creada por Herbst (1969) para referirse a arenas y arcillas que afloran en Corrientes en posición estratigráfica semejante. Según estos autores "está constituida por una toba calcárea de textura masiva y aspecto loésico, de color pardo anaranjado a pardo amarillento. El carbonato aumenta hacia abajo, llegando a constituir una tosca blanquecina..". Con posterioridad Iriondo (1980), al tratar sobre el Cuaternario de la provincia de Entre Ríos, hizo la designación formal que aquí se emplea. En el área de estudio el nivel de "tosca" se encuentra con regularidad entre cotas 35 m y 40 m, pero en subsuelo es difícil detectar su presencia en perforaciones distanciadas a más de 20 km de la ribera del Paraná.

Formación Hernandarias (Pleistoceno): esta unidad, constituida fundamentalmente por arcillas montmorilloníticas, aflora en gran parte del territorio de la provincia, cubriendo en discordancia a formaciones de distinta edad. En el área de estudio sólo falta totalmente en los valles de los arroyos donde la erosión en cárcava ha sobrepasado la cota 40 m. El perfil típico de la región está compuesto por una parte basal de arcillas grises, algo arenosas, con concreciones calcáreas; una parte intermedia de arcillas marrones con abundante yeso, que llega a constituir yacimientos explotables. Finalmente en los 5 a 10 m

superiores la secuencia es más limo-arcillosa, el carbonato de calcio forma rodaditos, concreciones y agregados pulvulentos manchados por óxido de manganeso.

Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno): Iriondo (1980) designó así formalmente a los depósitos de loess, de tonalidad amarillenta, constituido por limo fino arcilloso, que corona las barrancas con espesores que por lo general no sobrepasan los 5 m de potencia.

Formación La Picada (Holoceno medio): Iriondo (1980) propuso esta designación formal para los depósitos que forman el relleno aluvial de ríos y arroyos de Entre Ríos. Forman una terraza baja y bien desarrollada en todos los afluentes importantes de la margen izquierda del río Paraná. En los cursos del área de estudio está constituida por arenas finas provenientes de la erosión de la Formación Ituzaingó y los limos y arcillas que forman las unidades más modernas. Son depósitos de muy poco espesor.

Estructura

La hidrografía de la Provincia de Entre Ríos presenta numerosos rasgos que sugieren controles estructurales. No obstante son relativamente pocas las evidencias directas y esto ha dado lugar a opiniones controvertidas. En los aportes realizados por Padula y Mingramm (1968), Padula (1972) y Russo, Ferello y Chebli (1979), se señala que los movimientos tectónicos que afectaron a la Mesopotamia se evidencian mediante las discordancias que afectan a la columna estratigráfica que se desarrolla por debajo de los Basaltos de Serra Geral. Según Padula (1972), "El Substratum Proterozoico según la información disponible, parece haber estado estructurado en bloques limitados por fallas de gran ángulo, de rumbo Sudeste-Noroeste y cuyos bloques se hundían uno con relación al otro hacia el centro de la Mesopotamia. La morfología del techo de los Basaltos de Serra Geral, descritos en páginas anteriores, no señalan un relieve vinculado a un esquema estructural, sólo parece representar y ajustarse a la forma de la cubeta que fué receptora de cada derrame. Los estudios con sismografía de reflexión realizados en la provincia de Entre Ríos y de refracción en Entre Ríos, Corrientes y Santa Fe, no han evidenciado fallas que afectaran a estas rocas, pues no hemos comprobado fallas que señalen los cursos de los ríos Paraná, Gualeguay y Gualeguaychú, al menos en el ámbito de la Mesopotamia, como tampoco aquellas fallas que han sido comprobadas con perforaciones como Salto, Quebracho, Nogoyá, Gualeguay, etc. y

que afectan a términos inferiores a las Areniscas de Tacuarembó - Basaltos de Serra Geral y que se reactivaron con los movimientos anteriores al Intercretácico. Los movimientos del ciclo Andino dejaron como única evidencia las discordancias de tipo erosivo, pues desde el Intersenoniano hacia reciente no se observan rasgos estructurales mayores que los caractericen".

De igual modo opinan Russo, Ferello y Chebli (1979) "Por otra parte, debe destacarse que las fallas y el plegamiento no afectan a los depósitos cretácicos. Eso significa que los movimientos posteriores han sido del tipo epirogénico, limitándose a regular el avance y retroceso del mar y el mayor y menor hundimiento de las cubetas deposicionales. En opinión de Iriondo (1987) "El Paraná corre en dirección general norte-sur a lo largo de líneas estructurales. Durante largo tiempo se ha discutido acerca de "la falla del Paraná", de ubicación y características inciertas, ya que los datos de campo son algo confusos y hasta contradictorios. Lo que sucede en realidad es que este río fluye a lo largo de por lo menos cuatro fracturas mayores y atraviesa también elementos menores. La primera de ellas se extiende desde Corrientes hasta cerca de Goya. Desde Goya-Reconquista hasta La Paz se desarrolla la segunda; desde allí corre a lo largo de la fractura Ituzaingó-La Paz hasta El Cerro, algo al norte de la ciudad de Paraná con dirección noreste-suroeste. Desde allí hacia el sur la llanura aluvial toma un rumbo perpendicular al anterior hasta llegar al delta y al río de la Plata. Las fracturas anteriormente mencionadas limitan generalmente a bloques basculados, que sufrieron elevación en un extremo y hundimiento en el extremo opuesto. Ello indica que la región está sometida a esfuerzos generalizados de compresión."

Las estructuras geológicas tienen cierta relevancia hidrogeológica en aquellos ambientes en los cuales las mismas pueden incidir tanto en la acumulación como en la circulación de aguas subterráneas. En el área objeto de este estudio, no se ha comprobado que los posibles controles estructurales mencionados tengan alguna incidencia sobre las aguas subterráneas.

Hidroestratigrafía

Las Formaciones geológicas descritas presentan variaciones regionales en su constitución y/o estado físico, que inciden en la hidrología subterránea. Tomando como base la columna estratigráfica se han identificado las grandes unidades y subunidades hidrogeológicas que rigen la presencia, circulación y

constitución química de las aguas subterráneas, así como sus posibles vinculaciones con el ciclo exógeno.

La columna hidroestratigráfica queda constituida por siete grandes unidades hidrogeológicas. Ellas comprenden a las rocas y sedimentos que se extienden desde las areniscas acuíferas del Jurásico hasta los depósitos más modernos (Tujchneider y Filí, 1988).

- **Unidad hidrogeológica A:** esta unidad se corresponde totalmente con las Formaciones Tacuarembó y Serra Geral. En ella se distinguen tres subunidades:

A1: Compuesta por areniscas. Los antecedentes más cercanos al área de estudio provienen de las perforaciones realizadas en Guaviyú, Daymán y Arapey, entre otras, en el oeste de Uruguay, y Federación, Concordia, Colón y Villa Elisa, en el este de Entre Ríos. Estas areniscas contienen aguas de tipo bicarbonatado sódico, de salinidad media, con temperaturas del orden de los 40°C. En inmediaciones del río Uruguay las perforaciones son surgentes y erogan caudales del orden de 150 m³/h. La recarga se produce en la parte centro-norte de Uruguay (Tacuarembó-Rivera), unos 200 km al este del río Uruguay, donde las areniscas afloran. Si bien la Formación se extiende al oeste del río Paraná, en el subsuelo del área de estudio aún no se ha constatado su condición de acuífero mediante perforaciones.

A2: Compuesta por basaltos fisurados y alterados; aflora o está a poca profundidad en proximidades del río Uruguay; es acuífera por permeabilidad secundaria y, por tratarse de un medio hidráulico discontinuo, la producción de las captaciones en esta subunidad por lo general no superan los 5 m³/h (Auge, en: Montañó *et al*, 1998). Las aguas son de baja salinidad, predominantemente bicarbonatadas cálcicas y sódicas.

A3: Compuesta por basaltos masivos y potentes; constituye un pasaje en profundidad y hacia el oeste de la subunidad anterior y se la considera aquí como el basamento acuífugo regional.

- **Unidad hidrogeológica B:** esta unidad se corresponde en su totalidad con lo descrito como Formación Yeruá, compuesta principalmente por material samítico. De características predominantemente acuíferas, probablemente esté integrada por varios horizontes productivos; su extensión es regional pero, a medida que se profundiza hacia el oeste, sus condiciones hidráulicas e hidroquímicas desmejoran. En San Jaime de la Frontera, la perforación de arrocera El Yacaré alcanzó el techo de la unidad aproximadamente a cota -15 m y penetró 22 m en el acuífero; el nivel de agua ascendió hasta 4 m bbb (nivel piezométrico aproximado de +65 m). Según informa-

ción de sus propietarios se bombeó ininterrumpidamente durante 48 días a un caudal de 250 m³/h sin que se observaran disminuciones en el rendimiento. En San José de Feliciano el techo de esta capa acuífera se encuentra aproximadamente a cota -57 m y la perforación N° 3 del Servicio Provincial de Agua Potable penetró en él unos 14 m; el nivel estático ascendió hasta 15 m bbb, siendo el NP +53 m aproximadamente; esta capa se explota conjuntamente con otras menos profundas porque su rendimiento es bajo; no se descarta que, más que a las características hidráulicas del acuífero, esto se deba a ineficiencia de la captación. En la perforación Estacas N° 1 (DNGM), el techo de la unidad se encuentra a cota -220 m; contiene una capa acuífera de 65 m de potencia, con agua ascendente hasta 25 m bbb, es decir un nivel piezométrico de aproximadamente +40 m. No se poseen datos sobre parámetros hidráulicos de la unidad; por las características granulométricas y los caudales que se extraen en las perforaciones más orientales se estiman conductividades hidráulicas del orden de 35-45 m/d, decreciendo marcadamente hacia el oeste por disminución del tamaño de los granos y aumento de la compactación con la profundidad. Los niveles piezométricos descienden de este a oeste; la recarga debe producirse en las proximidades del río Uruguay, donde la unidad se encuentra muy próxima a la superficie; la descarga natural probablemente se produzca en el valle aluvial del Paraná. La composición química de las aguas es bicarbonatada sódica en San Jaime de la Frontera y San José de Feliciano, con salinidad aumentando en el sentido del flujo desde unas 800 a algo más de 1000 ppm; en Estacas las aguas son cloruradas sódicas y la salinidad supera las 65.000 ppm.

- **Unidad hidrogeológica C:** esta unidad comprende a las Formaciones Pay Ubre, Fray Bentos y al miembro basal arcilloso de la Formación Paraná. El conjunto constituye un paquete sedimentario que aumenta su potencia notablemente de este a oeste y su comportamiento hidráulico varía en el mismo sentido, desde predominantemente acuitardo, con intercalaciones de algunas capas acuíferas de poco espesor, hasta francamente acuícludo en el extremo occidental. En San Jaime de la Frontera el techo de la unidad se localiza aproximadamente a cota 45 m, tiene una potencia de casi 60 m y sólo se detectó la presencia de capas acuíferas delgadas en la parte más profunda. En San José de Feliciano la unidad se encuentra entre cotas 34 m y -57 m, con un espesor de algo más de 90 m; presenta tres capas productivas, la mayor de casi 10 m de potencia, separadas por sedimentos acuitardos de similar espesor, y el agua asciende hasta 15 m bbb (NP +53 m), conformando el

conjunto un acuífero multicapa. En Los Conquistadores comienza alrededor de la cota 40 m, pero no se conoce el espesor total; aquí se localizó una capa acuífera también en la parte predominantemente calcárea (cota 20 m aproximadamente), con 10 m de potencia y el nivel ascendió hasta 26 m bbp (NP +49 m). En Estacas la unidad comienza a cota -12 m y tiene una potencia de casi 180 m, compuesta fundamentalmente por arcillas verdes y pardas con yeso en los dos tercios superiores y calcáreos y areniscas calcáreas en la parte inferior; en esta última se localizó una capa acuífera de 2 m aproximadamente a cota -200 m; el agua ascendió hasta 44 m bbp (NP +21). A orillas del río Paraná, entre Pueblo Brugo y La Paz, el techo de la unidad se encuentra entre cotas -37 m y -55 m, y su potencia supera los 400 m. Los niveles piezométricos de las capas acuíferas detectadas en esta unidad también sugieren un sentido general del escurrimiento subterráneo hacia el valle del río Paraná. En Los Conquistadores el agua es bicarbonatada sódica, con 780 ppm de STD; en Estacas es clorurada sódica y tiene una salinidad total de casi 70.000 ppm.

- **Unidad hidrogeológica D:** integran esta unidad la parte superior de la Formación Paraná y las Formaciones Salto Chico, en el sector nororiental de la provincia, y su equivalente en el sector occidental, la Formación Ituzaingó, compuestas predominantemente por arenas. En el sector noroeste el sistema acuífero Ituzaingó-Paraná es el más importante. En el área de estudio el techo de la unidad se encuentra a cotas variables entre 25 m y 35 m. Los espesores de la unidad aumentan de este a oeste, registrándose un máximo de 50 m a orillas del río Paraná. La secuencia completa de la unidad está integrada por arenas finas a muy finas con intercalaciones de arcilla en capas milimétricas, concreciones calcáreas y niveles de arena fina cementada. Hacia abajo se pasa a arenas finas y medianas, limpias con tamaño de grano en aumento hasta llegar a niveles delgados, gravillosos. En algunos lugares puede observarse un pase gradual de arenas amarillas, predominantemente medianas a arenas grises y blanquecinas finas, con capas delgadas y discontinuas de arcillas verdes. Continúan luego las arenas donde predomina tamaño mediano a grueso; en otros casos se presentan, directamente por debajo de las arenas amarillas, capas lenticulares de arcilla, con espesores variables entre 1 m y 10 m. Estas arcillas semiconfinan a una capa de arenas medianas, limpias, desarrolladas sobre las arcillas basales. El conjunto se comporta como un acuífero multiunitario, con dos o tres capas acuíferas separadas por otras acuitardas.

- **Unidad hidrogeológica E:** esta unidad comprende

a las Formaciones Alvear y Hernandarias. Por su extensión areal, potencia y posición en la columna hidroestratigráfica, es de fundamental importancia para la hidrología superficial y subterránea, por lo que también es objeto de un tratamiento más amplio. En lo que respecta al comportamiento hidráulico puede dividirse verticalmente en dos partes. La parte superior, con un espesor medio que varía entre 5 y 10 metros es predominantemente acuitarda y contiene a un acuífero freático, arealmente discontinuo y de muy bajo rendimiento. La parte inferior, más potente, va acentuando en profundidad su carácter acuícludo, actuando como capa semiconfinante hasta confinanste del acuífero principal. Los espesores varían de pocos metros a orillas del Paraná, hasta más de 50 m hacia el centro de la provincia.

- **Unidad hidrogeológica F:** esta unidad comprende a los loess superiores -Formación Tezanos Pinto- que en las barrancas del río Paraná se superponen a las arcillas de la Formación Hernandarias. Tiene espesores máximos del orden de los 4 metros y solamente se registran en una faja ribereña variable entre 5 a 10 km de ancho. En áreas pobladas, como Santa Elena y La Paz, a orillas del Paraná, el loess superior se encuentra saturado en la zona de contacto con la Formación Hernandarias. Las aguas de lluvia y las residuales de la actividad humana se infiltran hasta el techo de las arcillas y escurren hasta descargar en el talud de barranca produciendo deslizamientos. Como parte de los estudios hidrogeológicos realizados en Santa Elena (PROINSA, 1994) se determinaron conductividades hidráulicas en el loess superior mediante el método de "pozo barrenado". Los valores del parámetro, obtenidos por las ecuaciones de Van Beers, fluctuaron entre extremos de 0,20 m/d y 1,85 m/d, con una media, en 8 ensayos, de 0,72 m/d.

- **Unidad hidrogeológica G:** esta unidad está representada por los depósitos aluviales modernos descritos bajo el nombre de Formación La Picada. Su distribución areal se restringe al cauce de los arroyos y, consecuentemente su rol hidrogeológico está limitado areal y temporalmente, a la acumulación y circulación en el subálveo.

Hidrogeología

La información de los puntos de agua censados durante las tareas realizadas por Agua y Energía, fué objeto de nuevas mediciones en campañas recientes, que actualizan la información antecedente disponible. En general no se han observado cambios significativos entre los obtenidos durante el período 70-80 a los actuales. Las últimas mediciones se realizaron en

sitios seleccionados por considerarlos representativos. En el orden particular esta investigación es significativa para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos de Entre Ríos. La provincia está encerrada por dos grandes ríos que integran el sistema Paraná - de La Plata: al este se encuentra el Río Uruguay, cuyo módulo es de 5.000 m³/seg.; al oeste el Río Paraná, con un módulo que ha superado los 16.000 m³/seg. No obstante, las aguas de los grandes ríos tiene muy bajo nivel de aprovechamiento. Son pocas las poblaciones ribereñas y no todas se abastecen de agua superficial. Paraná, la ciudad capital toma agua del río pero actualmente para su expansión se provee de agua potable mediante perforaciones. Entre Ríos, es una de las provincias más ricas en

recursos hídricos superficiales, pero depende para su desarrollo fundamentalmente de aguas subterráneas. La riqueza hídrica subterránea de la provincia también es muy importante. En casi todo el territorio se puede extraer agua de buena calidad química, aún en arenas de origen marino. Los caudales extraíbles pueden variar desde pocas decenas de metros cúbicos por hora hasta más de 500 m³/hora. Los sistemas acuíferos de mayor utilización están constituídos por arenas y gravas, de origen fluvial (Formaciones Ituzaingó y Salto Chico) y marina (Formación Paraná), de edad Plioceno y Mioceno. Tienen espesores que varían desde unos 20 metros y pueden aproximarse a 100 metros. Por lo general las capas productivas están semiconfinadas o confinadas por mantos de

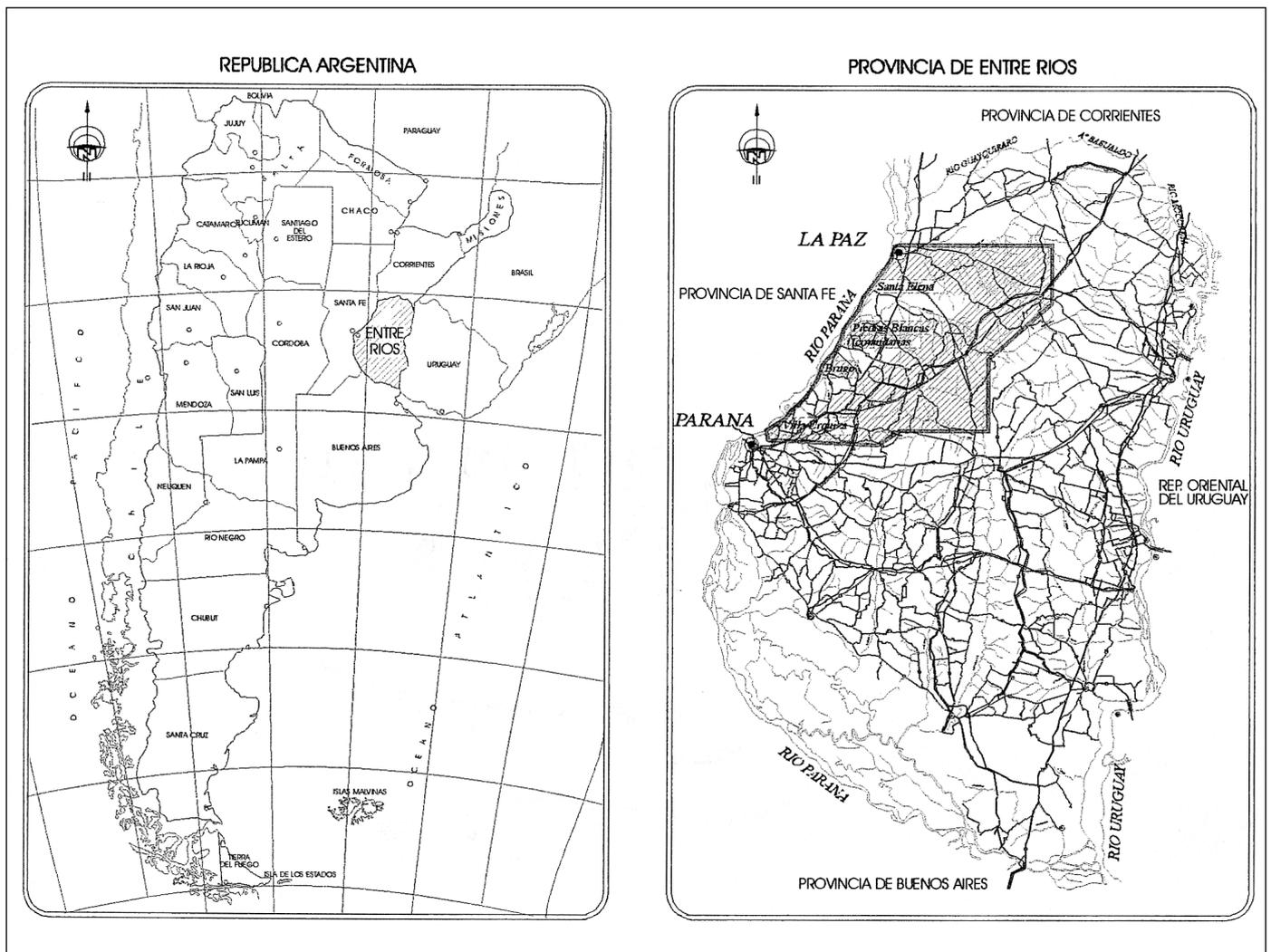


Fig. 2. Ubicación geográfica de área de estudio

Fig. 2. Geographical location of the study area

arcilla, con potencias que suelen superar los 50 metros y en algunos casos mucho más. Debido a que las formaciones geológicas aflorantes están constituidas predominantemente por arcillas, en gran parte del territorio se ha desarrollado una densa red de drenaje. Estas características sumadas a una topografía con pendientes relativamente pronunciadas conforman un paisaje suavemente ondulado, donde se manifiestan procesos erosivos, en manto y en cárcava, en gran medida severos. No obstante la abundancia de agua meteórica, el balance hídrico a nivel del suelo es deficitario en gran parte del territorio por las circunstancias señaladas. La práctica de retener el agua de lluvia mediante pequeñas represas aún no se ha desarrollado en todo su potencial. La columna hidrogeológica descrita, representativa de gran parte de la provincia, y la dinámica hídrica superficial, ponen de relieve un relativamente alto grado de desvinculación entre las aguas del ciclo exógeno y las subterráneas. El estudio de la composición isotópica del agua subterránea en algunos sitios de la región central corroborarían una recarga lejana, al menos en el tiempo. En los últimos años, mediante perforaciones que llegan a superar los 1000 metros y atraviesan a los basaltos cretácicos (Fm Arapey o Serra Geral) para penetrar en las areniscas jurásicas (Tacuarembó o Botucatu), Entre Ríos se ha incorporado al aprovechamiento, principalmente con fines termales del ahora denominado Sistema Acuífero Guaraní. Las aguas subterráneas infrabasálticas tienen sus áreas de recarga en Uruguay y Brasil, países que las emplean para diversos usos desde hace décadas. Las perforaciones realizadas en Federación, Concordia, Colón, Villa Elisa y Concepción del Uruguay, evidencian que las características geohidrológicas del sistema pueden variar significativamente de una zona a otra. Como se ha señalado precedentemente, el abastecimiento de agua para consumo urbano y rural, para abreviar ganado, para comercialización como agua mineral, para uso industrial, para riego, y ahora para fines turísticos y recreativos, proviene casi en su totalidad de fuentes subterráneas. Para dar una idea de la magnitud de la explotación del recurso hídrico subterráneo, baste señalar que, sólo para riego de arroz, cada año y durante un lapso continuado de 100 días se extraen aproximadamente 80 m³/seg, caudales que se van incrementando porque ya la superficie con cultivo de arroz ha superado las 90.000 hectáreas. Por otra parte, como ocurre en las provincias de la región pampeana aquí también ha comenzado una importante demanda de perforaciones para hacer riego complementario de otros cereales. En la Figura 2 se muestra el Mapa Isopiécico Regional, que representa la superficie equipotencial correspondiente a la

Unidad Hidrogeológica D. Merece destacarse la dirección del escurrimiento con sentido general sudeste-noroeste y la casi total independencia de la red de flujo del diseño de drenaje superficial.

Bibliografía

- Aceñolaza, F.G., 1976. Consideraciones bioestratigráficas sobre el Terciario Marino de Paraná y sus alrededores. *Acta Geológica Lilloana*, XIII (2): 91-108, San Miguel de Tucumán.
- Aceñolaza, F.G. y Sayago, J.M., 1980. Análisis preliminar sobre la estratigrafía, morfodinámica y morfogénesis de la región de Villa Urquiza, provincia de Entre Ríos. *Acta Geológica Lilloana*, XV (2): 139-154, San Miguel de Tucumán.
- Camacho H.H., 1967. Las transgresiones del Cretácico superior y Terciario de la Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, XXII (4): 253-280, Buenos Aires.
- D'Orbigny, A. de, 1846. *Voyage dans L'Amérique meridionale*. Tomo III. (Trad. española de Edit. Futuro, Buenos Aires).
- Filí, M.F., 1983. Hydrogeology of the "Paraná Medio" region. Effects of the southern reservoir upon groundwaters. En *Proc. Int. Symp. Ground water in Water Resources Planning*. UNESCO - IAH -IAHS. I: 91-101, Koblenz.
- Gentili, C.A. y Rimoldi, H. V., 1979. Mesopotamia, en *Geología de la República Argentina*. IIº Simposio Academia Nacional Ciencias, I: 195-223, Córdoba.
- Herbst, R., 1969. Nota sobre la geología de Corrientes. IV Jornadas. *Geológicas Argentinas*. Actas, 3: 87-95, Buenos Aires.
- Herbst, R., 1971. Esquema estratigráfico de la provincia de Corrientes, República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, XXVI (2): 221-243, Buenos Aires.
- Herbst, R., Santa Cruz, J.N. y Zabert, L.L., 1976. Avances en el conocimiento de la estratigrafía de la mesopotamia argentina, con especial referencia a la provincia de Corrientes. *Revista Asociación Ciencias Naturales del Litoral*, 7: 101-121, Santa Fe.
- Herbst, R. 1980. Consideraciones estratigráficas y litológicas sobre la Formación Fray Bentos (Oligoceno inferior-medio) con especial referencia de Argentina y Uruguay. *Revista Asociación Geológica Argentina*, XXXV (1): 308-317, Buenos Aires.
- Herbst, R. y Santa Cruz, J.N., 1985. Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes. *Revista D'Orbignyana* (2): 1-51, Corrientes.
- Iriondo, M.H., 1973. Análisis ambiental de la Formación Paraná en su área tipo. *Revista Asociación Geológica de Córdoba*, 2, Córdoba.
- Iriondo, M.H., 1980 El Cuaternario de Entre Ríos. *Revista Asociación Ciencias. Naturales del Litoral*. Santo Tomé, Vol. 11, pp. 125-141.
- Iriondo, M.H. y Rodríguez, E.D., 1973. Algunas características sedimentológicas de la Formación Ituzaingó entre La Paz y Pueblo Brugo, Entre Ríos. Vº Congreso Geológico Argentino, Actas, I, Buenos Aires.

- Montaño, J., Tujchneider, O., Auge, M., Filí, M., Paris, M., D'Elía, M., Pérez, M., Nagy, M.I., Collazo, P. y Decoud, P., 1998. Acuíferos Regionales en América Latina. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo Argentino Uruguayo. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral. 216 pp. Santa Fe.
- Padula, E., 1972. Subsuelo de la Mesopotamia y regiones adyacentes. En: *Geología Regional Argentina*. I° Simposio Geología Regional Argentina, Academia Nacional Ciencias. Córdoba.
- Padula, E. y Mingramm, A., 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico-sedimentario del "Triásico" en el subsuelo de la llanura Chaco-Paranense. III Jornadas Geología Argentina, Actas, I: 291-331. Buenos Aires.
- Russo, A., Ferello, R. y Chebli, G., 1979. Llanura Chaco Pampeana. En: *Geología de la República Argentina*. II° Simposio Academia Nacional Ciencias, I: 139-183, Córdoba.
- Santa Cruz, J.N., 1981. Bases hidrogeológicas generales de la provincia de Corrientes. VIII° Congreso Geológico Argentino, Actas, IV: 231-242, San Luis.
- Stappenbeck, R. 1926. *Geologie und Grundwasserkunde der Pampa*. Stuttgart, Alemania.
- Tujchneider, O.C. y Filí, M. F., 1983. Aspectos geohidrológicos del noroeste de la provincia de Entre Ríos. XI° Congreso Nacional del Agua: Tomo Aguas Subterráneas: 71-83, Córdoba.
- Tujchneider, O y Filí, M., 1988. Geohidrología de la cuenca del arroyo Feliciano (provincia de Entre Ríos, Argentina) *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Tomo XLIII. N 2. Pág. 163:174
- Yrigoyen, M. 1975. Geología del Subsuelo y Plataforma Continental. En: *Relatorio: Geología de la Provincia de Buenos Aires*. VI° Congreso Geológico Argentino, 139-168, Buenos Aires.