

DEPÓSITOS FLUVIALES DEL PLIO-PLEISTOCENO-Holoceno DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS Y SUS IMPLICANCIAS HIDROGEOLÓGICAS

Adrián SILVA BUSO^{1,2} y Sergio AMATO³

¹ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Email: silvabusso@yahoo.com.ar

² GIICMA, Universidad Tecnológica Nacional, Regional Concordia, Concordia.

³ Instituto Nacional de Agua, Dirección de Servicios Hidrogeológicos, Ezeiza. Email: samato@ina.gov.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis de los depósitos fluviales del Plio-Pleistoceno y Holoceno de la provincia de Entre Ríos (Formaciones Ituzaingó, Salto Chico, Ubajay y unidades correlacionables) proponiendo un modelo geológico e hidrogeológico del Plio-Pleistoceno y Holoceno de la mencionada provincia. Las Formaciones Ituzaingó y Salto Chico constituyen depósitos muy potentes que indican el desarrollo de paleocanales de un paleosistema fluvial de proporciones continentales controlado por la combinación de lineamientos estructurales y litológicos más antiguos. Los cambios de dinámica fluvial dieron lugar a los procesos de acumulación de la más reciente Formación Ubajay, que indica un aumento de energía con oscilaciones importantes reflejadas en su variada litología. La hidrogeología se desarrolla sobre este escenario de forma más compleja de lo supuesto en interpretaciones previas. Los cambios faciales, de espesores, de altimetría y relaciones estratigráficas condicionan las transmisividades, tipo de recarga y almacenamiento de estas unidades y sus acuíferos, explicando las variaciones en las características hidráulicas e hidroquímicas. Se propone un escenario hidroestratigráfico actualizado, considerando que estas unidades determinan la distribución y productividad de los acuíferos contenidos que son los más importantes de la región y que constituyen una auténtica reserva estratégica de agua subterránea.

Palabras clave: *Depósitos fluviales, Plio-Pleistoceno, Holoceno*

ABSTRACT

Fluvial deposits of the Plio-Pleistocene to Holocene of the province of Entre Ríos, Argentina: hydrogeological implications

This paper presents an analysis of Plio-Pleistocene-Holocene fluvial deposits (Ituzaingó, Salto Chico, and Ubajay Formations and other correlationable units) proposing a geological and hydrogeological model of the subsoil and the most shallow and outcropping units in Entre Ríos province. The Ituzaingó and Salto Chico Formations deepens various sectors leaving powerful underground deposits. This indicates the existence of large paleo-channels as part of fluvial paleosystem of continental proportions. This fluvial system controlled by the combination of structural lineaments. The changes in this fluvial dynamics resulted in the accumulation processes of the latest Ubajay Formation. This is a result of an increased energy with significant oscillations defining its varied lithology. The hydrogeology developed on this scenario presents a more complex way than assumed in previous interpretations. The facial changes, thickness, altimetry and stratigraphic relationships determine the transmissivity, storage type and condition recharge these units and their aquifers. This accounts for the variations of its hydraulic and hydrochemical characteristics. We propose an updated hydrostratigraphic scenario, considering that the studied units determine the distribution and productivity of the aquifer. They are the most important in the region and constitute an authentic strategic reserve of groundwater.

Keywords: *Fluvial deposits, Plio-Pleistocene, Holocene*

INTRODUCCIÓN

Este estudio pretende aportar una visión sistémica, presentando una completa recopilación de la información geológica aflorante y de pozos. No se pretende aquí agotar el estudio de un conjunto de unidades geológicas tan complejo como

los niveles fluviales del Plio-Pleistoceno/Holoceno, sino que, tiene como objeto integrar las interpretaciones más recientes de los diversos autores, incluir nuevos datos y enmarcarlos dentro de una propuesta de modelo geológico común que sirva como guía para prospecciones hidrogeológicas u otros estudios geológi-

cos. En función de los estudios y datos disponibles en la bibliografía y/o bases de datos, proponemos una interpretación actualizada y sistémica para las unidades mencionadas. Esto permite redefinir las características y alcances de los modelos geológicos disponibles en auxilio de las interpretaciones hidrogeológicas, pro-

porcionándoles un contexto geológico más integral y más consecuente con la información disponible.

AREA DE ESTUDIO

Este estudio comprende la totalidad de la provincia de Entre Ríos (Fig. 1), una región de llanura con clima subtropical húmedo y una amplitud térmica que no excede los 13°C, donde el alto grado de humedad del aire reduce su oscilación diaria.

Dado su escaso relieve no ofrece restricciones a la influencia de los vientos húmedos del nordeste; al accionar de los vientos secos y fríos del sudoeste ni a los vientos del sudeste portadores de aire frío y saturados de humedad. La influencia constante de los vientos del nordeste distribuye las precipitaciones que disminuyen en forma gradual de NE a SO, desde 1.200 a 900 mm anuales (Bianchi y Cra-vero 2010).

Caracterizada por un paisaje de suaves lomas y valles, importantes ríos interiores como el Gualeguay, Gualeguaychú, Guayquiraró, Nogoyá, Feliciano y una gran cantidad de afluentes menores con desembocadura en los ríos Paraná y Uruguay. El complejo sistema deltaico del río Paraná confiere a la región características propias con cotas topográficas más bajas, cercanas al nivel del mar. Si bien existen diversos estudios geológicos e hidrogeológicos en la provincia (Filí *et al.* 1993, Santi *et al.* 1995, 2009, Silva Busso 1999, Auge y Santi 2002, Santi 2002, Santi y Bianchi 2004, Auge *et al.*, 2005, Mársico 2013, Boujon y Sanci 2014), la geología de superficie, y en particular, de los niveles geológicos fluviales Plio-Pleistocenos/Holoceno aflorantes en la provincia, carecen de una visión integrada que permita vincularlos entre sí y con la geología del subsuelo.

ANTECEDENTES

La geología de la cuenca Chacoparanense de Argentina es conocida desde las primeras perforaciones de la Dirección de Geología, Minas e Hidrogeología reali-

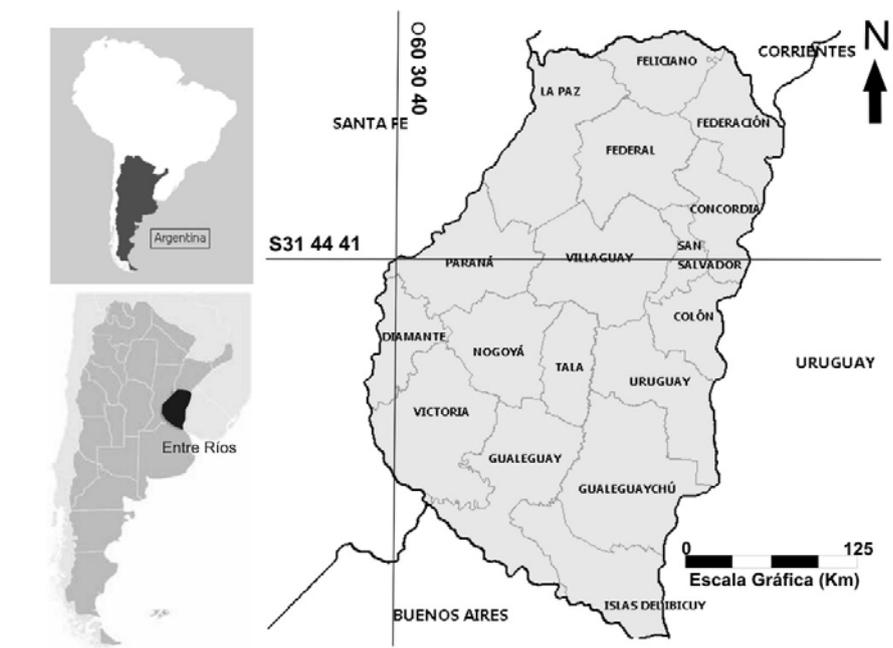


Figura 1: Área de estudio. Provincia de Entre Ríos.

zadas con el objetivo de brindar abastecimiento de agua al ferrocarril a principios del siglo XX. De allí surge el primer estudio del subsuelo de la provincia de Entre Ríos (Stappenbeck 1926). La geología del subsuelo de la región oriental de la provincia fue luego abordada por Padula y Minngramm (1968), Chebli *et al.* (1979) y Fernández Garrasino (1992). Posteriormente, los aspectos geológicos e hidrogeológicos de las Formaciones Serra General, Botucatú y Piramboiá y las unidades correlacionables en la República Oriental del Uruguay fueron estudiados por Silva Busso (1999) y diversas publicaciones posteriores. Tras el desarrollo del Proyecto Acuífero Guaraní (2009), se incluyeron también aportes relacionados con detalles de la litología de las secciones Interbasáltica e Infrabasáltica en Mársico (2013), que no modificaron sustantivamente la estratigrafía propuesta previamente para esas unidades. Los aportes al conocimiento del Neógeno de la región fueron discutidos ampliamente por Tófaló (1986) para las Formaciones Puerto Yerúa y Fray Bentos (o nombres correlacionables). Aceñolaza (2007) realiza estudios en la Formación Paraná suprayacente a las anteriores, constituida por arcillas verde azuladas y verdes, con in-

tercalaciones arenosas y abundantes fósiles marinos de edad miocena. La Formación Paraná se extiende ampliamente en la región de la cuenca Chacoparanense y su particular litología y extensión permite considerarla un verdadero horizonte guía para la hidroestratigrafía, a excepción de las zonas donde las estructuras del subsuelo han controlado la transgresión Miocena en la región oriental entrerriana (Aceñolaza 2007). El gradual retiro del mar paraneano hacia el sureste (Aceñolaza 2007), creó las condiciones para el desarrollo de un sistema fluvial muy amplio, dando origen a un depósito predominantemente arenoso y excepcionalmente continuo, reconocido en gran parte de las provincias de Córdoba, Santa Fe, franja oriental de Chaco y Formosa y Buenos Aires conocido como Formación Puelches (Santa Cruz 1972), y que se corresponde con sedimentos en la provincia de Entre Ríos y en Corrientes. Este complejo conjunto sedimentario de origen fluvial con edad desde el Plio-Pleistoceno hasta el Cuaternario ha sido denominado de forma muy diversa por diversos autores en función de la localidad o provincia donde se ha definido. En Corrientes y Entre Ríos occidental (De Alba 1953) estos niveles fluviales se conocen como

Formación Ituzaingó, siendo ésta la unidad sedimentaria de origen fluvial observada por Frenguelli (1920) primeramente, y luego por De Alba (1953) quien presentó una revisión de esta unidad fundamentalmente sobre la base de datos de afloramiento en la localidad de Ituzaingó, Corrientes, que luego se incluyó dentro de la estratigrafía entrerriana (De Alba y Serra 1959) y a los que se le asignaron edad plio-pleistocena. En la ciudad de Ituzaingó, se encuentra el perfil tipo de esta unidad conformada por una secuencia de arenas cuarzosas, pardo amarillentas a blanquecinas y rojizas de gran selección granulométrica y composicional con intercalaciones arcillosas de variado espesor, las que pueden llegar incluso a reemplazar casi por completo al material psamítico (Silva Busso y Amato 2013). Amato (1998) indica que la granulometría dominante de los depósitos fluviales mencionados son los términos de arena fina, pero abarcando los rangos que van desde arena muy fina a arena gruesa. La extensión regional de la Formación Ituzaingó supera en extensión la zona de estudio. En la provincia de Entre Ríos aflora en la costa paranaense desde la ciudad de Paraná, donde pueden verse los primeros afloramientos, hasta el norte alcanzando el departamento de La Paz. En algunos ríos interiores como el Gualeguay, Nogoyá, Feliciano y Gualeguaychú (sur) lo hace en sus desembocaduras e incluso en las barrancas de sus cauces. Existe una estrecha franja territorial entre la laguna El Pescado y Diamante de no más de 20 km de ancho en el sudoeste de la provincia donde no fue registrada la Formación Ituzaingó y donde afloran la Formación Paraná, la Formación Alvear y la Formación Tezanos Pintos (Silva Busso *et al.* 2011). En esta zona aparece en el registro otra unidad la Formación Alvear (Aceñolaza 2007) también fluvial con aporte local, aunque con edades contemporáneas que indican que se trataría de un diferente proceso fluvial y no del mismo evento que la Formación Ituzaingó. Términos psamíticos atribuibles a la Formación Puelches han sido descriptos en el subsuelo del delta del Paraná (Silva Busso y

Amato, 2005). En la región oriental de Entre Ríos, Rimoldi (1963) y Gentili y Rimoldi (1979) describieron facies gravosas a las que denominaron Formación Salto Chico. Esta unidad sedimentaria de origen fluvial, cuasi-contemporánea es correlacionable con la Formación Ituzaingó en la provincia de Entre Ríos. Estos depósitos gravosos fueron observados y descriptos en principio en la República Oriental del Uruguay por Lambert (1940) primero y luego por Bossi (1966) en lo que hoy es su término correlacionable la Formación Salto, nombre asignado a esta unidad por Goso (1965). En términos generales estas unidades fluviales conforman una secuencia de gravas clastosostén con una matriz arcillo limosa de colores diversos pardo rojiza, blanquecina, castaño clara y otros tonos similares. Puede presentar intercalaciones de arcillas castañas claras y/o verdosas y se han descripto niveles de matriz ferruginosa lo que le otorga una mayor consolidación (Silva Busso *et al.* 2011). También afloran sedimentos psamíticos posiblemente correlacionables en la vecina República Oriental del Uruguay, cerca y sobre la costa del estuario del Río de la Plata donde se la denomina Formación Raigón (Goso y Bossi 1966, Bossi *et al.* 1975). Sobreimpuesto a los niveles de edad plio-pleistocena se observa un variado conjunto de formaciones cuaternarias *sensu stricto* o completamente de esta edad.

De importancia estratigráfica y muy extensa en el este entrerriano es la Formación Ubajay. Esta es una unidad sedimentaria de origen fluvial que fue definida por Gentili y Rimoldi (1979) en el Parque Nacional El Palmar, y en la zona del Arroyo Ubajay de donde toma su denominación. Por su parte referencia a espesores y texturas se realizan en Iriondo (1980) donde se establecen para esta unidad espesores variables entre 3 m y 12 m. En Iriondo (1996) se menciona con el nombre de Formación El Palmar y se indica que posee predominio de arenas finas a medianas de colores rojizos amarillentos y ocre, de edad holocena, de origen fluvial e interpretado como expresión de una terraza alta del río Uruguay.

Se la describe de forma diversa y por su ocurrencia y litología es fácilmente confundible con las unidades fluviales previamente mencionadas, sobre todo con la Formación Salto Chico. En la Formación Ubajay predominan las arenas finas a medianas de colores rojos, amarillentos y ocre donde intercalan niveles conglomerádicos matriz-sostén de poco espesor con rodados de ópalo, calcedonia y cuarzo blanco y eventualmente fragmentos de basalto. En estudios posteriores Silva Busso y Amato (2013) para la Formación Ubajay, describen depósitos psamíticos con pasajes a sedimentos arcillosos-limosos hacia el tope de la misma. Por otra parte se han encontrado restos fósiles en San José y Concordia que le atribuyen una edad pleistocena superior (Tonni 1987). Otra unidad importante y más extensa que la anterior y característica del centro-este y poniente entrerriano es la Formación Hernandarias. Definida por Reig (1956) se compone de una arcilla limosa o arcilla de casi una decena de metros de espesor en la localidad tipo (en la homónima ciudad de Hernandarias), con finas láminas de arena distribuidas uniformemente en todo el perfil donde se observan intercalaciones de niveles yesíferos. Presentadas unidades, una inferior más arcillosa de color gris plomizo a verdoso que suele contener yeso y la superior tiene una coloración castaño rojizo, constituido por limos y arcillas y contiene concreciones calcáreas (Reig 1956).

En el registro litológico del subsuelo de la provincia, al norte en el límite con Corrientes, se hallan también términos probablemente correlacionables y relacionados en edades como por ejemplo la Formación Toropí-Yupoí (Herbst *et al.* 1985). En el sudoeste de la provincia de Entre Ríos, sobreimpuesta a la Formación Alvear, se halla la Formación Tezanos Pintos de origen eólico y ligeramente más reciente que la Formación Hernandarias (Aceñolaza 2007). Algunos autores (Bertolini 1995, Santi *et al.* 2009) incluyen otros términos correlacionables. Finalmente, las más recientes unidades son atribuibles a la Formación Talavera (Bertolini 1995), que puede incluir otras

similares y/o correlacionables en el complejo sistema deltaico Paraneano. Por su parte el registro litológico del subsuelo de la región del delta del río Paraná posee términos correlacionables de origen eustático marino muy diversos como son la Formación Atalaya y la Formación Playa Honda (Amato y Silva Busso 2009).

METODOLOGÍA

Si bien la geología e hidrogeología de los niveles Plio-Pleistoceno - Holoceno han sido objeto de algunos estudios regionales, los mismos han sido realizados en base a información muy dispersa y fragmentaria en el tiempo y en el espacio. La región, se caracteriza por una marcada ausencia de afloramientos (a comparación de zonas de sierra o montaña) por lo tanto gran parte de la información geológica de apoyo a este estudio proviene de datos de perforaciones. Se han recopilado datos de 504 perforaciones provenientes de diferentes fuentes (Dirección Nacional de Geología y Minería 1965, Santi *et al.*, 1995, Silva Busso 1999, Santi 2002, Santi y Bianchi 2004) de los que se han revisado las descripciones geológicas, reinterpretando la información y redefiniendo la nomenclatura y los límites estratigráficos a las concepciones más modernas y recientes (Iriondo 1996, D'Elía *et al.* 2001, Aceñolaza 2000, 2007). La mayor parte de los datos en este estudio no son nuevos, y no todos ellos se han generado ex-profeso para los objetivos aquí propuestos. De hecho, la mayoría de los datos de pozo producidos es consecuencia de la explotación de un conjunto de acuíferos que son la base principal del abastecimiento humano y de la explotación agrícola-ganadera local. Los afloramientos reconocidos aquí tampoco son nuevos, fueron estudiados a lo largo del siglo XX. La escasez y poca longitud de afloramientos, que son en su mayoría puntuales (canteras) o de escasos cientos de metros de extensión lateral a lo largo de arroyos y ríos, dificultan el seguimiento de las características geológicas de las unidades sedimentarias. Además, la similitud litológica de los niveles

Plio-Pleistoceno-Holoceno hace complejo el reconocimiento estratigráfico. En las zonas donde la densidad de datos del subsuelo es baja o nula se han utilizado métodos geoelectricos para correlacionar la información geológica de los depósitos mencionados. La información obtenida de los métodos geoelectricos (Silva Busso *et al.* 2012) depende de la geología conocida y los modelos hidrogeológicos actuales. Se emplearon resultados de sondeos anteriores (Silva Busso *et al.* 2011) realizados en 5 campañas donde las tareas han consistido fundamentalmente en la ejecución de los sondeos eléctricos verticales y revisión de la geología de afloramientos y canteras. Se reinterpretaron 43 sondeos eléctricos verticales que tuvieron como objetivo completar en forma indirecta y mediante interpretación la posible estratigrafía de profundidad en función de pozos paramétricos elegidos. Se revisaron no menos de 55 sitios y canteras de interés geológico, muchas de ellas ya relevadas en estudios previos (Wahnish 1937, De Alba 1953, Reig 1956, Gentiliet al. 1974, Gentili y Rimoldi 1979, Iriondo 1996, Herbst 2000, Aceñolaza 2007) pero muchas otras han sido revisadas por primera vez por tratarse de canteras más recientes. La recopilación incluyó también información inédita de empresas, profesionales y de los propios autores. Si bien este conjunto de datos no es significativo en volumen, si lo es desde la actualidad y confiabilidad de la información.

No toda la información recopilada ha sido recuperada para su análisis debido a que la misma ha sido sometida a un proceso de validación. En ese sentido es importante aclarar que por diferentes motivos el 35% de la información existente no ha sido posible reinterpretarla dada la antigüedad del mismo. Si bien en algunos casos la información litológica es confiable, otros factores como la ubicación del mismo, ausencia de muestras para su revisión y ausencia de parte de los datos originales entre otros, hacen a un gran número de ellos inutilizables como dato. También se descartaron datos con descripciones confusas, ambiguas o poco claras.

La información de base y temática consiste en coberturas vectoriales y se ha optado por referir toda la cartografía y datos de base en Faja 6 Gauss Krügger POSGAR 98. Todos los mapas isoparamétricos fueron producto de la interpolación de datos con procedimientos estadísticos (*kriinkage*) y luego volcados sobre la base del modelo digital de terreno de la provincia (Silva Busso *et al.* 2011) integrándola a un SIG. La densidad de pozos empleados es suficientemente grande para obtener interpretaciones fiables a la escala de este trabajo. Finalmente, si bien este estudio se centrará en la provincia de Entre Ríos, en los casos donde fuere necesario se utilizaron datos de la geología de las regiones circundantes, ya que es difícil comprender la geología de subsuelo localmente si no se tiene una visión regional de la misma.

Debido a la gran variabilidad que manifiestan los depósitos fluviales, se establece por lo general una gran variedad granulométrica, sin manifestar una clara evidencia de dominio marcado en algún rango en particular. Teniendo en cuenta este aspecto, se ha realizado la interpretación según las siguientes condiciones:

- (a) Observancia de las litologías descritas en la información original de los pozos.
- (b) Determinación de horizontes litológicos de referencia claros e inequívocos, por ejemplo las arcillas verde azuladas de la Formación Paraná base de los acuíferos mencionados.
- (c) En caso de ser posible se respeta la interpretación formacional del autor original. De no ser posible lo anterior, se reinterpreta y homologa con denominaciones más modernas o mejor definidas en la bibliografía actual.
- (d) De existir dudas sobre estos aspectos o no lograr un georeferenciamiento aceptable a esta escala de trabajo se ha descartado la información del pozo, afloramiento o cantera.

Bajo los criterios mencionados se han revisado las descripciones geológicas existentes reinterpretando la información y redefiniendo la nomenclatura y los límites estratigráficos a las concepciones más

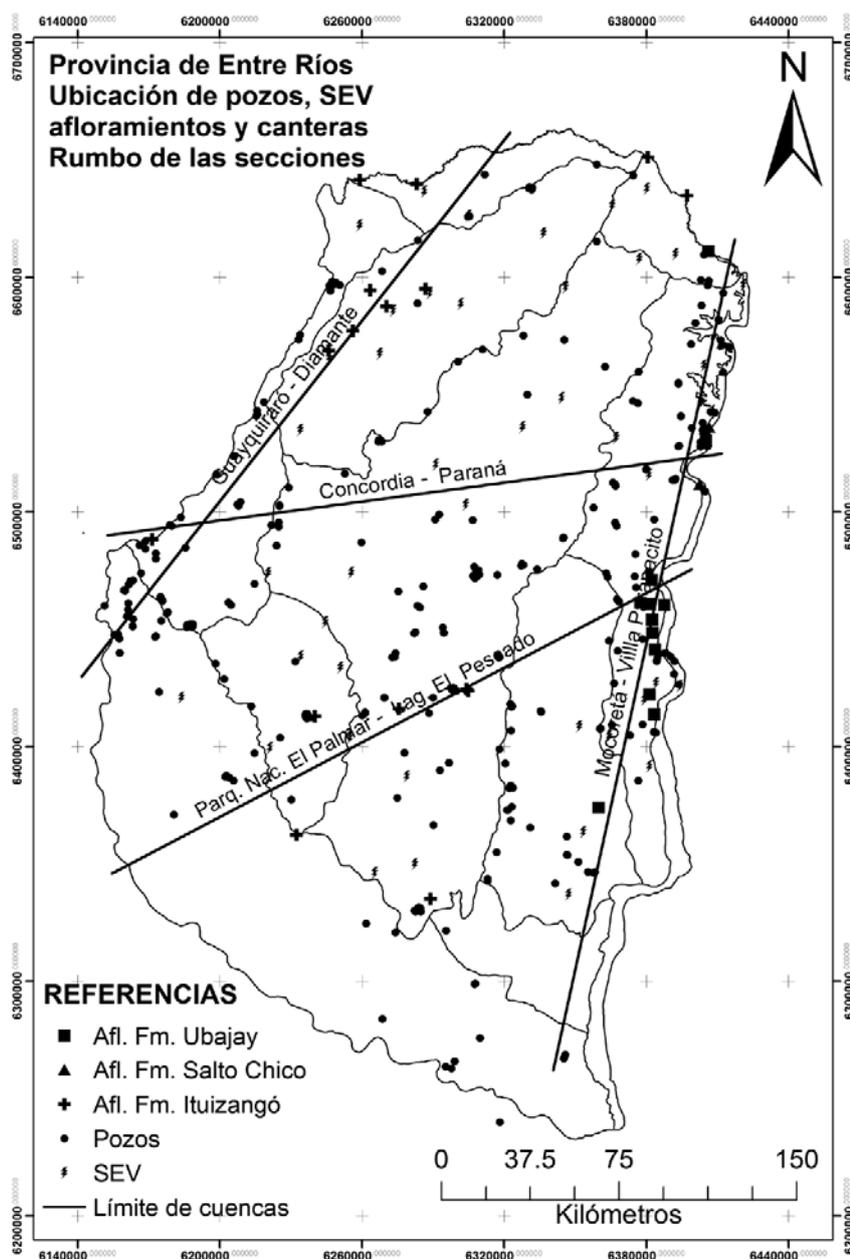


Figura 2: Distribución de la información de los afloramientos, canteras, pozos y sondeos eléctricos verticales.

modernas y recientes (Iriondo 1996, Silva Busso 1999, Aceñolaza 2000, 2007, D'Elía *et al.* 2001, Silva Busso y Fernández Garrasino 2004, Fernández Garrasino *et al.* 2005, Fernández Garrasino 2008, Fernández Garrasino y Rezoagli 2008). Los puntos con información geológica validada pueden verse en la Figura 2.

En total se han rescatado como información georeferenciable y de posible rein-

terpretación 314 perforaciones (sobre las 504 disponibles). De ese conjunto alcanzan la base de las Formaciones Ituzaingó, Salto Chico y Ubajay el 77% de las mismas. Esto genera zonas "sin dato" en los mapas donde la densidad de información no alcanza para proponer una interpolación y correlación adecuada de la información. Los afloramientos revisados fueron 41 de los cuales debe incluirse unas 14 canteras que mediante sus destapes ofre-

cen la posibilidad observar la geología inmediatamente aflorante. Considerando esto, el porcentaje de afloramientos y canteras donde fue posible revisar las Formaciones Ituzaingó, Salto Chico y Ubajay fue del 70%. Se usó esta información como apoyo de la interpretación geoelectrica en conjunto con la información de pozos antes mencionada. Esto último da una clara idea de la representatividad del conjunto de la información analizada. El total de los sondeos eléctricos verticales realizados alcanzan la base de las Formaciones Ituzaingó, Salto Chico y Ubajay y las curvas de campo obtenidas poseen un buen ajuste. Esto permite elaborar los datos e interpretarlos para obtener la distribución de resistividades en el subsuelo e interpretarlas geológicamente.

RESULTADOS

Aspectos litoestratigráficos

En términos generales las unidades involucradas (Formaciones Ituzaingó, Salto Chico y Ubajay) psamíticas o incluso psefiticas, presentan bases erosivas canalizadas o de contacto neto, sobre sustratos menos competentes como son los niveles arcillosos de la Formación Paraná, mientras que el techo generalmente se presenta como transicional hacia material pelítico, como es el caso de la Formación Hernandarias.

Formación Ituzaingó: La revisión de campo de este trabajo incluyó varios afloramientos en ríos y canteras. En aquellos observados en ríos debe considerarse que la altura de los ríos o la antropización de la costa en algunos sitios restringen la posibilidad de observarla. A excepción del perfil AF23 (Fig. 3) que muestra el techo y base de la secuencia, en los restantes solo suele observarse los niveles cuspidales de la unidad. Dada la dificultad para definir un estrato tipo, situación típica en la llanura, es más representativo realizar una descripción sintética de la secuencia, considerando aquellos aspectos ya definidos en la metodología.

Los depósitos presentan en varias localidades dos ciclos psamíticos, bien definidos comúnmente separados por un nivel

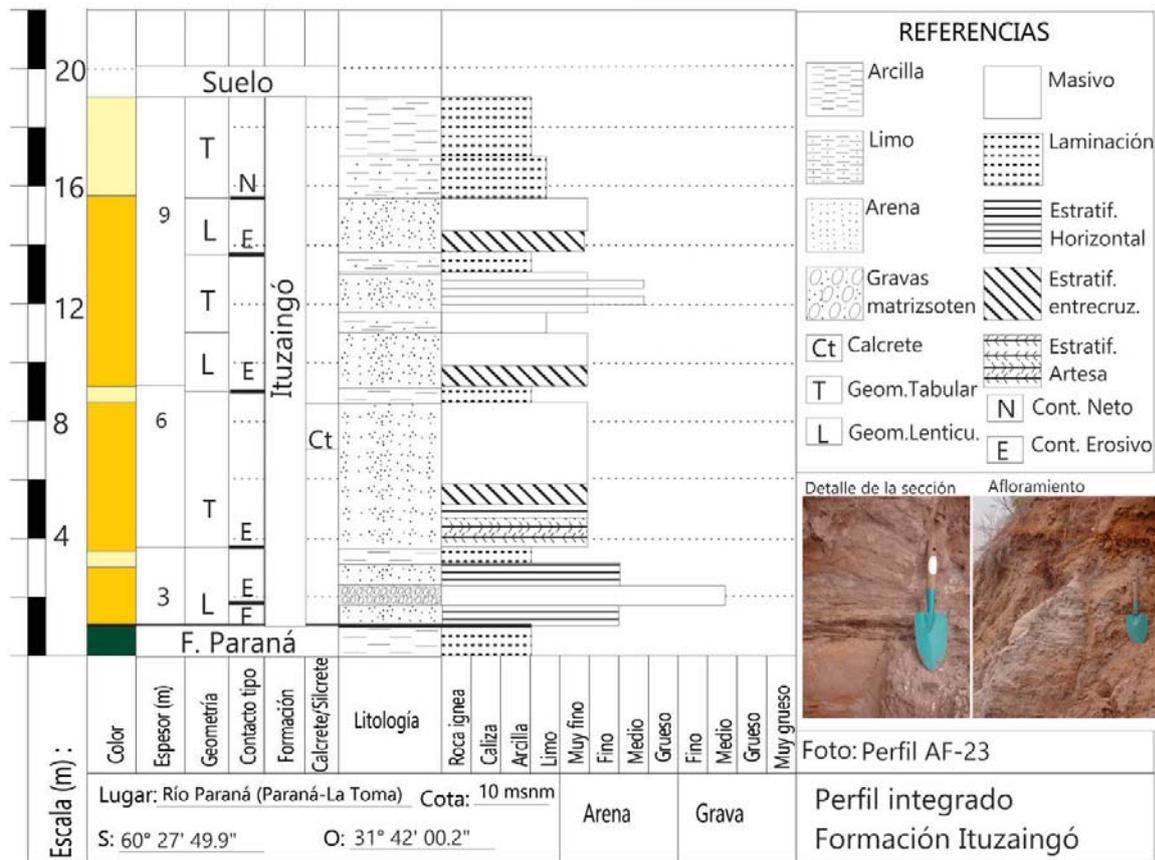


Figura 3: Perfil integrado (AF-23) de la Formación Ituzaingó en el afloramiento.

pelítico (a diferencia de su probable correlación bonaerense, la Formación Puelches, que normalmente presenta uno). Descripto de base a techo, su primer ciclo suele comenzar con arenas de color amarillo claro o castaño amarillento, grano-decrecientes de grano grueso a medio y con estructuras de corriente entrecruzadas y estratificación plana (Fig. 3). Las estructuras entrecruzadas suelen observarse en forma dominante en la base de esta unidad. En algunos casos, la base puede contener niveles conglomerádicos finos o sabulíticos, bien redondeados en abundante matriz arenosa. Son de composición cuarzosa dominante con escasos líticos y opacos. Toda la unidad se presenta friable y sin consolidar. En el techo, la Formación Ituzaingó intercala un nivel limo arcilloso o arcilloso sin consolidar, de color castaño claro, castaño blanquecino e incluso verde claro, a veces con contactos transicionales y a veces netos. El espesor de la inter-

calación es variable entre pocos metros y decenas de metros, e incluso puede estar ausente o reemplazar todo el miembro superior psamítico. El tope de la Formación Ituzaingó se presenta comúnmente como arenas finas a muy finas de color castaño amarillento, castaño claro, ocre e incluso castaño blanquecino, a veces con estratificación plana. Aunque se presenta granodecreciente toda la unidad, suele intercalar niveles limosos e incluso arcillosos de poco espesor, masivos y/o con laminación paralela difusa. En general de composición cuarzosa, escasos líticos y opacos, friable y sin consolidar. El techo de la Formación Ituzaingó remata con una arcilla de color gris a castaño grisáceo, masiva, sin consolidar, plástica y friable. Eventualmente las arenas de este ciclo pueden verse completamente reemplazadas lateralmente por limos o arcillas de color castaño amarillento. El contacto superior de la Formación Itu-

zaingó no es fácilmente reconocible en muestras de recortes de pozo, ya que presenta escaso contraste litológico con las unidades que la sobreimponen. Como se ha mencionado el techo de la Formación Ituzaingó suele ser pelítico, de colores muy similares a la frecuentemente suprayacente Formación Hernandarias de igual litología y colores similares. También en los estudios geoeléctricos este pase puede ser asimilado con los mismos valores de resistividad. En los pozos la base solo se reconoce al alcanzar las arcillas verde azuladas (Formación Paraná) o rojizas según el caso (Formación Asencio), de lo contrario quedarán dudas sobre la profundidad del pase. En pozos de la zona sudoeste de la provincia (cuenca del A° Nogoyá) el ciclo superior se observa totalmente pelítico, aunque no faltan ejemplos en otros sitios de la provincia. *Formación Salto Chico*: Si bien la revisión de campo incluyó afloramientos o destapes de canteras, varios de ellos menciona-

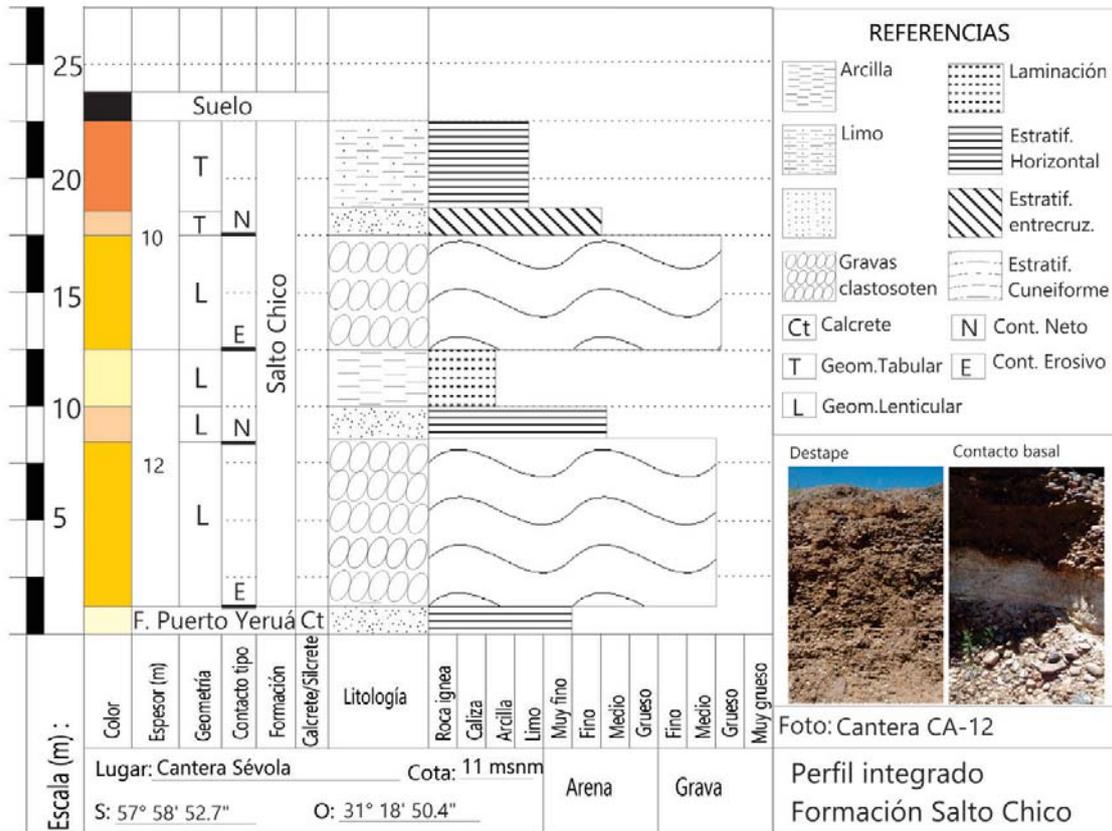


Figura 4: Perfil integrado de la Formación Salto Chico en la Cantera CA-12.

dos por Gentili y Rimoldi (1979), muchos otros han sido cubiertos por el llenado del embalse de la presa Salto Grande. Es complejo identificar esta unidad aflorando y se la confunde frecuente y fácilmente con la más moderna Formación Ubajay. Además debido a la altura del río Uruguay suele restringirse la posibilidad de observación, los destapes de cantera ofrecen mejor posibilidad de reconocimiento. Desde el momento de embalsamiento de reserva no son accesibles los afloramientos sobre la costa del río Uruguay aguas arriba de la presa Salto Grande. El afloramiento en el parque San Carlos, Ciudad de Concordia (AF09) es probablemente de los pocos accesibles en periodo de estiaje por estar ubicado aguas abajo de la presa. El perfil AF-09 solo muestra el techo de la Formación Salto Chico. En las canteras CA-01 y CA-11 solo suele observarse los niveles cuspidales de la unidad y en muchos casos apenas unos metros por debajo de la unidad suprayacente. La cantera CA-12 muestra una secuencia com-

pleta aparentemente condensada, de techo a base de esta unidad. La base de la Formación Salto Chico y su contacto erosivo con la infrayacente Formación Puerto Yerúa puede observarse 300 metros hacia el este de la cantera mencionada sobre la costa, también en estiaje. Suele presentar dos ciclos psefíticos difusos y con frecuencia separados por un nivel pelítico de poca potencia (menos de un par de metros), aunque puede faltar dada la naturaleza erosiva de los depósitos (Fig.4). El ciclo superior posee mayor participación psamítica en algunas canteras y pozos. Descrito de base a techo, el primer ciclo generalmente comienza con gravas color amarillo claro a castaño claro e incluso oscuro de tamaño fino y clastosostén. La composición de los clastos es cuarzosa o con variedades amorfas de sílice como calcedonia y ópalo con una importante proporción de clastos líticos de composición basáltica y en menor proporción de composición pelítica. Los clastos son comúnmente prolados,

de buena redondez y se presentan en un arreglo masivo sin imbricación. La matriz es escasa, limo-arenosa de colores variables donde predomina el ocre y el castaño rojizo, aunque se han observado en algunas localidades composiciones más arcillosas de tonos verdosos. Estas gravas están moderadamente seleccionadas, sin consolidar o en ocasiones poco consolidadas. Hacia el techo aparecen las arcillas que separan ambos ciclos con un contacto que suele ser neto. Este paquete arcilloso es comúnmente de color amarillo castaño e incluso castaño verdoso, posee muy poco espesor (raramente más de un par de metros e incluso puede ser de centímetros). Muchas veces está ausente dado el contacto superior erosivo, sin la presencia de arcillas cuspidales en el registro. El ciclo superior, cuando es gravoso suele ser de color amarillo claro a castaño rojizo de tamaño fino y clastosostén, de características litológicas y composicionales iguales al mencionado previamente, pero en este ciclo hay mayor partici-

pación de material psamítico y la matriz suele ser limo-arcillosa (Fig.4). Las arenas suelen ser medias a finas de color castaño amarillento y se presentan intercaladas entre las gravas con espesor de pocos metros y suele tener estructura laminar plana. Hacia el techo de la secuencia estas tienden a reemplazar por completo a las gravas.

La cantidad de pozos que atraviesan esta unidad en la provincia es grande porque en este caso se explota el acuífero para la producción arrocerá, sin embargo la información documentada es escasa. También hacia el poniente esta unidad es de fácil reconocimiento en el subsuelo entrerriano, debido al mayor contraste litológico de las unidades que la sobreimpone. En los pozos que atraviesan esta unidad también se observan los dos ciclos fluviales que se reconocen en afloramiento. Los mismos están frecuentemente separados por un paquete arcilloso de poca potencia. El techo de la Formación Salto Chico suele ser psamítico y de colores ocres amarillentos en contrastante con la arcilla gris claro de la Formación Hernandarias cuando es suprayacente. Es más complejo distinguirla hacia el este donde se halla sobreimpuesta la Formación Ubajay. Esto último no solo ocurre en los pozos sino también en afloramiento, debido a que comparte con la Formación Ubajay características litológicas similares, sobre todo cuando el segundo ciclo de la Formación Salto Chico es psamítico confundiendo con facilidad sus respectivos límites. La base de la Formación Salto Chico solo se reconoce al alcanzar las arcillas verde azuladas (Formación Paraná) en el oeste de la comarca. En el este la base se reconoce al llegar a las arcillas rojizas de la Formación Asencio, las arenas silicificadas de la Formación Puerto Yeruá o los basaltos de la Formación Serra Geral.

Como parte integral y correlacionable del paleo-sistema fluvial plio-pleistoceno la verdadera extensión regional en profundidad supera ampliamente la zona de estudio aquí propuesta y desde un punto de vista litológico la Formación Salto Chico sería correlacionable con la Formación

Salto, que como se mencionó, aflora en la vecina República Oriental del Uruguay cerca y sobre la costa del río Uruguay sobre todo al norte de Salto (Goso y Bossi 1966; Bossi *et al.* 1975).

Formación Ubajay: En este caso la revisión también incluyó afloramientos mencionados por Gentili y Rimoldi (1979) en el Parque Nacional El Palmar (cercanías de Ubajay) por ser el sitio donde se la definió inicialmente. Se ha incluido un diverso número de afloramientos dado que, en verdad, es más frecuente de observar aflorando esta unidad que la Formación Salto Chico porque es la más moderna y en cierta forma constituye un rasgo geomorfológico costero. Esta es una razón por la que frecuente y fácilmente se la confunde con la más antigua Formación Salto Chico en no pocos informes y descripciones de pozos. Dado que por lo común se sobreimpone a las Formaciones Salto Chico e Ituzaingó (esta última más al sur y al oeste de la costa río Uruguay) y posee una litología similar, es difícil definir su pase con seguridad. Si bien existen afloramientos en los arroyos de las comarcas orientales de la provincia afluentes del río Uruguay puede ocurrir que en algunas épocas del año la altura del río restrinja la posibilidad de observarla y nuevamente los destapes de cantera, con más potencia de exposición, ofrecen mejor posibilidades de observación.

El afloramiento más accesible y representativo donde ha sido posible observarla es nuevamente sobre la costa del río Uruguay en el parque San Carlos en Concordia (AF-09). En el perfil se muestra el techo y base de la Formación Ubajay y cuando el río está en bajante permite ver incluso el techo de la infrayacente Formación Salto Chico, alcanzando así los 9 metros de potencia. En los arroyos vecinos y canteras solo suele observarse los niveles cuspidales de la unidad de 3 o 4 metros de potencia. Aquí también, y por iguales razones ya mencionadas, recurriremos a realizar una descripción sintética de esta unidad (Fig. 5). Descrita de base a techo la secuencia comienza con unas arcillas basales de color verde amarillento, amarillo castaño e incluso castaño verdoso

con contacto neto, que poseen muy poco espesor (raramente más de un par de metros e incluso puede tener centímetros), plásticas y cohesivas. Estas arcillas muchas veces están ausentes en otros afloramientos y pozos a consecuencia del contacto superior erosivo. Sin la arcilla en el registro puede observarse que la geometría del ciclo superior parece tener otra disposición espacial y presentar un contacto neto-erosivo. Ese constituye un primer ciclo de baja energía del ciclo fluvial de esta unidad. Por encima suelen observarse limos arenosos de colores ocres o rojizos masivo de un par de metros de espesor (aunque esta potencia es variable) que presenta intercalaciones de arenas finas también de colores ocres o rojizos con laminaciones paralelas, sin consolidar y friable. Prosigue una arena muy fina a fina de color rojo intenso, cuarzosa que presenta intercalaciones arcillosas, a veces masiva, otras presenta estructuras de corriente como estratificación plana paralela de bajo ángulo y en artesa siempre poco consolidada y friable. Intercalado o por encima se observan gravas fangosostén de tamaño fino, con clastos de composición silícea (calcedonia, ópalo u otras variedades), e incluso basáltica, angulosos y con tendencia prolada.

La matriz es de tipo limo-arenosa de color rojizo y cuarzoso. Los depósitos psefíticos suelen intercalar e interdigitar con la arena previamente mencionada sin un orden aparente. La secuencia suele terminar en su techo con un limo arenoso que intercala arcillas. También puede finalizar con un depósito pelítico de color castaño claro. En otros casos el techo puede ser una arcilla de color gris blanquecino, masiva o ligeramente laminada, sin consolidar, plástica y friable. Un aspecto notorio es que se intercalan bancos de areniscas silicificadas o silcretos (relativamente frecuentes entre las localidades de Ubajay y San José) que suelen estar a profundidades someras. Estos silcretos tienen granulometría arenosa o limosa y colores castaño claro o gris blanquecino, pueden ser masivos o presentar estructuras de corriente, competentes y fuertemente cementadas por cemento silíceo.

tivas, pero solo las dos primeras se relacionan con los niveles de estudio en este trabajo. La distribución de los horizontes resistivos en superficie y profundidad es muy variable en espesores, profundidades y en la salinidad de las aguas de los sedimentos. Este hecho dificultará la correlación porque evidencia un ambiente con cambios no solo geológicos sino hidroquímicos que no pueden ser correlacionados adecuadamente dado que en algunos sitios no se conoce la hidrogeología con suficiente detalle por la falta de pozos parametrizables. Silva Busso *et al.* (2012) la han interpretado bajo el criterio de que la zona no saturada es relativamente poco potente y la zona saturada contiene aguas que son comúnmente dulces (aunque en algunos casos pueden ser salobres y puede cambiar la respuesta resistiva de una misma unidad). Debe tenerse presente en todo momento que las Unidades Resistivas I y II fueron interpretadas usando pozos paramétricos, afloramientos y/o canteras lo que hace más fiable las interpretaciones y correlaciones (Silva Busso *et al.* 2012).

Las unidades resistivas (I y II) corresponderían a unidades geológicas que contienen acuíferos, acuitardos o acuíferos con aguas salobres, con la siguiente correlación hidrogeológica:

Formaciones infrayacentes del Neógeno: Si bien los sedimentos fluviales de edad plio-pleistocena apoyan frecuentemente sobre la Formación Paraná, en la región oriental de la provincia lo hacen también sobre las Formaciones Fray Bentos, Puerto Yerúa o Serra Geral indistintamente en función del control estructural más profundo y la capacidad erosiva de estas unidades. Este conjunto de formaciones infrayacentes se lo ha correlacionado con diversa respuesta resistiva dentro de los grupos III, IV, V y VI propuestos en Silva Busso *et al.* (2012) pero están fuera del alcance de este estudio.

Formación Salto Chico: Esta unidad estaría definida fundamentalmente por la Unidad Resistiva IIb del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 11m b.b.p. hasta los 125 m b.b.p. y una profundidad promedio de

CUADRO 1: Afloramientos más representativos de las unidades descriptas.

Lugar	Longitud	Latitud	Cota base msnm	Ref.	Formación
A° Mocoretá (Paso Gambetta)	58° 04' 10.5"	30° 25' 19.2"	45	AF-18	Ituzaingó
A° Feliciano (Paso Banderitas)	59° 13' 37.0"	30° 45' 54.9"	40	AF-19	Ituzaingó
A° Feliciano (Paso Medina)	59° 33' 00.0"	30° 55' 16.4"	35	AF-20	Ituzaingó
A° Clé	59° 23' 01.2"	32° 22' 31.8"	59	AF-21	Ituzaingó
A° Nogoyá (Paseo de los Puentes)	59° 45' 40.5"	32° 23' 49.6"	40	AF-22	Ituzaingó
Río Paraná (Barrancas-La Toma)	60° 27' 49.9"	31° 42' 00.2"	10	AF-23	Ituzaingó
A° Nogoyá (Rincón de Nogoyá)	59° 51' 31.6"	32° 51' 02.5"	10	AF-24	Ituzaingó
A° Gualaguay (La Toma)	59° 15' 39.0"	33° 06' 34.3"	8	AF-25	Ituzaingó
A° Estacas	59° 28' 14.6"	30° 45' 59.2"	43	AF-26	Ituzaingó
A° Feliciano (Picada Berón)	59° 24' 01.0"	30° 49' 50.0"	37	AF-27	Ituzaingó
A° Feliciano (Paso Quebracho)	59° 39' 36.6"	30° 59' 37.5"	33	AF-28	Ituzaingó
A° Gualaguay (Tala sur)	59° 04' 23.7"	32° 18' 44.7"	28	AF-29	Ituzaingó
A° Gualaguay (Tala norte)	59° 04' 43.7"	32° 18' 23.2"	26	AF-30	Ituzaingó
A° Tuna	58° 14' 28.2"	30° 16' 19.7"	71	AF-31	Ituzaingó
Guayquiraló (Paso Yunque)	59° 15' 19.6"	30° 21' 42.7"	36	AF-32	Ituzaingó
Guayquiraló (Paso Telégrafo)	59° 30' 18.1"	30° 20' 29.1"	26	AF-33	Ituzaingó
Parque San Carlos	57° 59' 46.0"	31° 21' 54.1"	7	AF-09	Salto Chico
Cantera Puerto Yerúa	58° 01' 36.2"	31° 31' 55.2"	32	CA-11	Salto Chico
Cantera Zorroaquin	58° 00' 03.4"	31° 19' 10.5"	33	CA-01	Salto Chico
Cantera Sévola	57° 58' 52.7"	31° 18' 50.4"	11	CA-12	Salto Chico
Parque San Carlos	57° 59' 46.0"	31° 21' 54.1"	7	AF-09	Ubajay
A° Mocoretá	57° 58' 43.5"	30° 38' 12.5"	35	AF-34	Ubajay
A° Berduc	58° 15' 15.1"	31° 59' 24.3"	20	AF-35	Ubajay
A° Gualaguaychú (Ruta 14)	58° 29' 46.8"	32° 46' 14.7"	11	AF-36	Ubajay
A° Urquiza (Viejo Molino)	58° 15' 38.9"	32° 20' 16.8"	17	AF-37	Ubajay
A° Perucho Verna	58° 13' 59.6"	32° 09' 52.7"	10	AF-38	Ubajay
A° Caraballo (Ruta 14)	58° 14' 36.5"	32° 06' 04.4"	11	AF-39	Ubajay
A° Palmar (viejo puente)	58° 14' 37.3"	31° 53' 56.5"	9	AF-40	Ubajay
A° Mármol	58° 14' 42.1"	32° 03' 05.4"	15	AF-41	Ubajay
Cantera Palmar Salvia	58° 17' 47.0"	31° 59' 09.9"	25	CA-13	Ubajay
Cantera Palmar Salvia 02	58° 11' 22.7"	31° 59' 40.4"	23	CA-14	Ubajay
Cantera C. del Uruguay	58° 14' 19.8"	32° 24' 50.0"	19	CA-09	Ubajay

77 m b.b.p.

Formación Ituzaingó: Esta unidad estaría definida fundamentalmente por la Unidad Resistiva IIa del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 17 m b.b.p. hasta los 112 m b.b.p. y una profundidad promedio de 65 m b.b.p.

Formación Ubajay: Esta unidad estaría definida fundamentalmente por la Unidad Resistiva Ib del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 2 m b.b.p. hasta los 13 m b.b.p. y una profundidad promedio de 7 m b.b.p. Formaciones Hernandarias, Alvear, Toropí-Yupoí, otras relacionadas: Estas unidades estarían definidas fundamentalmente por la Unidad Resistiva Ia del

CUADRO 2: Características de las Unidades Resistivas I y II (Silva Busso *et al.*, 2012).

Unidad Resistiva	Resistividad ohm.	Espesores (m)
Ia	1.4 - 30.7	1.6 - 32.8
Ib	4.8 - 122.6	1.4 - 10.4
IIa	2.4 - 95.2	7.6 - 93.7
IIb	17.5 - 39.1	8.9 - 91.6

estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 5 m b.b.p. hasta los 38 m b.b.p. y una profundidad promedio de 16 m b.b.p.

Distribución areal

Para entender la distribución areal de estas unidades se han generado mapas de

altimetría del techo e isopáquicos, estos productos cartográficos deberán ser considerados en términos generales y a escala regional, debido a que cualquier interpretación local de los mismos podría carecer de la densidad de información que el caso amerita. Este conjunto de mapas se ha confeccionado para las unidades estratigráficas Formación Ituzzaingó y Formación Salto Chico en conjunto, sin discriminarlas, debido a que las consideramos eventos relacionados y variaciones laterales de los sedimentos plio-pleistocenos. En forma independiente se confeccionaron los mapas correspondientes a la Formación Ubajay más moderna y superpuesta.

Formación Ituzzaingó: La mayor existencia de datos de pozo permite poder presentar el mapa de altimetría del techo y probable extensión respectivamente (Figs. 5 y 6a). Las cotas altimétricas en la provincia oscilan desde valores de 100 m s.n.m. en zonas de afloramiento al sudoeste de la provincia y sobre la banda Río Paraná hasta profundidades de -10 m s.n.m. en una amplia región que involucra el centro y sur del delta Paraneano. Existen zonas con gradientes altimétricos moderados sobre todo donde la altimetría aumenta y gradientes más acusados en las zonas donde se profundiza el techo de la unidad. Estos cambios de gradiente no parecen tener una alineación clara aunque tienen cierta tendencia noroeste/sureste. Esto parece indicar cierto grado de control sobre la morfología de la unidad, pero de características diferentes a los lineamientos estructurales señalados en las unidades previas por diferentes autores. Esta intensa sucesión de altos y bajos puede ser más característica de una secuencia que refleja una fuerte capacidad erosiva basal capaz de modificar parte del paleorelieve de la superficie subyacente donde el control estructural es una variable subordinada o la condiciona a muy grandes rasgos. El apilamiento de la columna sedimentaria enmascara el control estructural profundo heredado de las unidades más antiguas y la escasa magnitud de los procesos tectónicos son superados por la capacidad erosiva de esta unidad. En el

mapa se señala el límite oriental entre esta unidad y su contemporánea Formación Salto Chico sobre la base de las descripciones de pozo, aunque debe pensarse en ambas como un evento depositacional fluvial relacionado crono-estratigráficamente. El mapa isopáquico deja observar también el límite transicional de la unidad hacia el este, reemplazada por la Formación Salto Chico. En la zona donde esta se encuentra en el registro geológico del subsuelo presenta espesores significativos que oscilan desde 90 m en el sur (desembocadura del río Guauguay) hasta valores de 10 m en cercanías de los afloramientos de la Formación Paraná en la región sudoccidental de la provincia, donde incluso llega a estar ausente del registro. En una amplia región que involucra el este y el sur de la cuenca del río Guauguay y el centro de la cuenca del río Nogoyá y el Paraná medio tiene espesores de 90 metros (Fig. 6a).

Formación Salto Chico: Presenta hacia el oeste una transición con las arenas de la Formación Ituzzaingó (Fig. 6a). Las cotas altimétricas oscilan desde valores de 10 m s.n.m., en zonas de afloramiento sobre la banda río Uruguay hasta profundidades de -50 m s.n.m. en una amplia región que involucra la zona este de la cuenca del río Guauguay. Existen zonas con gradientes moderados donde la altimetría disminuye y gradientes más elevados donde aumenta su cota. Estos cambios de gradiente no parecen tener una alineación clara aunque debe notarse que su límite de ocurrencia parece seguir un “arco” cóncavo hacia el Este, entre Chajarí y Colón aproximadamente con cierta tendencia nortesur.

Iriondo (1996) menciona a Colón como límite sur de la Formación Salto Chico y sugiere que se integraría al cauce actual del río Uruguay. Las facies gravosas raramente se observan al sur de Colón, no obstante y dado que la Formación Salto Chico frecuentemente tiene facies cuspidalespsamíticas, entendemos que las observaciones cercanas a la ciudad de Guauguaychú podrían estar incluidas (Boujon y Sancí 2014). Por estas razones proponemos un límite regional siguiendo

do la traza del cauce del río Guauguaychú integrándolo luego al río Uruguay.

Queda demostrada la fuerte capacidad erosiva basal del agente fluvial que dio origen a la Formación Salto Chico, capaz de modificar parte del paleorelieve de la superficie subyacente, también tendría un control estructural, como variable subordinada, a otros eventos deposicionales más recientes. Presenta espesores significativos que oscilan desde valores de 10 m en cercanías de las zonas de afloramiento sobre el río Uruguay y que profundizan hasta valores de 90 m de espesor hacia el oeste, en las cercanías de su límite lateral transicional. Los afloramientos basálticos en el río Uruguay parecen funcionar como zócalos de sedimentación o niveles competentes a la erosión. Esta situación incluso ocurre en algunos sitios con la Formación Puerto Yerúa, dado su intensa silicificación que le proporciona una fuerte competencia frente a la erosión. Además, en las comarcas orientales donde aflora no parece manifestarse otro control significativo de diferente tipo. En síntesis la distribución de la altimetría y los mapas isopáquicos parecen mostrar escasa o nula relación entre la morfología del techo del basalto u otras unidades asignables al Cretácico y Paleógeno.

Formación Ubajay: Representa hacia el oeste la expresión más reciente de estos depósitos Plio-Pleistocenos (Silva Busso y Amato 2013). Las cotas altimétricas del techo coinciden en gran medida con la topografía del Instituto Geográfico Militar, por lo tanto se considerará así como una aproximación suficiente para esta escala de trabajo. El techo toma valores desde 50 m s.n.m. en la divisoria de aguas de las Cuencas de arroyos afluentes del río Uruguay hasta aproximadamente los 10 m s.n.m. en la costa de dicho río. El mapa isopáquico de la Figura 7b presenta grandes espesores que oscilan desde valores de 5 m hasta incluso acuñar en cercanías de las zonas de afloramiento sobre el río Uruguay.

La Formación Ubajay tiende a profundizarse hacia el oeste hasta alcanzar valores de 20-25 m de espesor en la zona norte entre Federación y Chajarí (Fig. 7b). Tam-

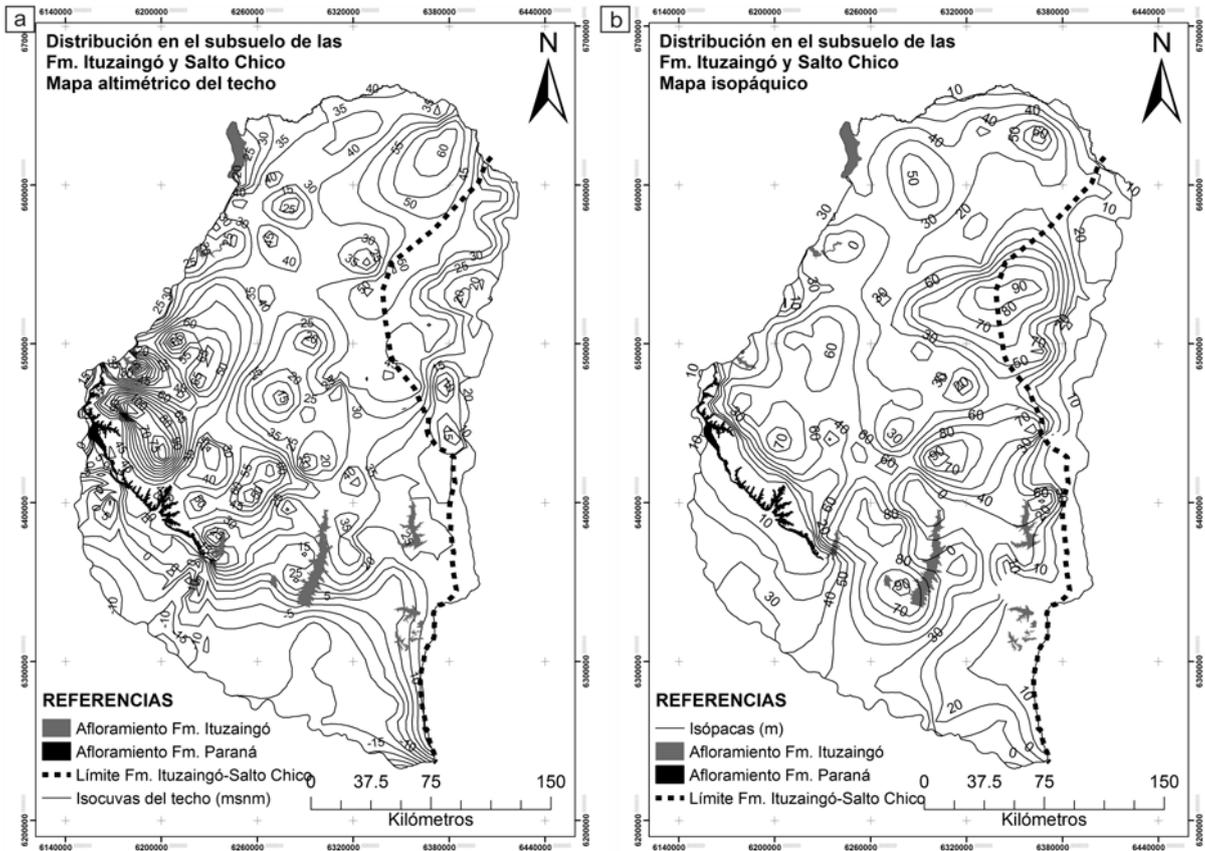


Figura 6: Distribución en el subsuelo de las Formaciones Ituzaingó y Salto Chico. a) Mapa altimétrico del techo; b) Mapa isopáquico.

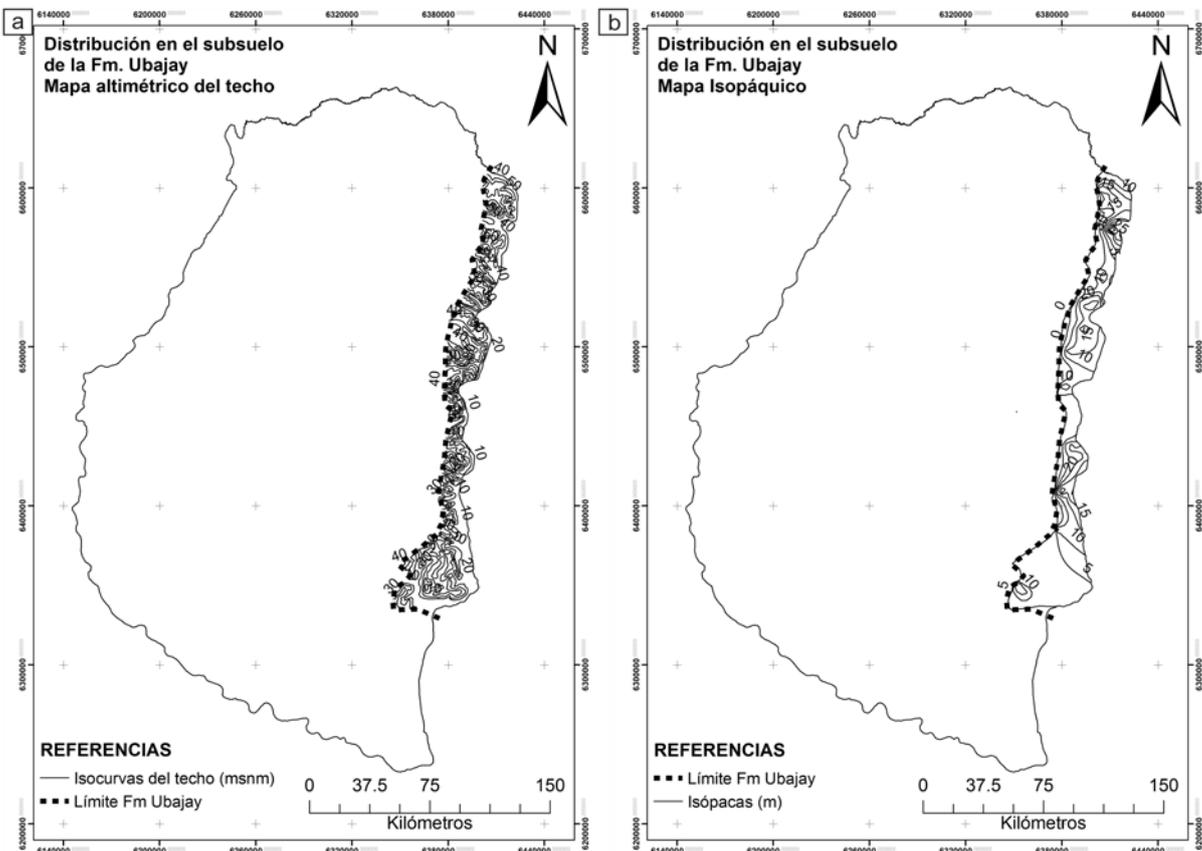


Figura 7: Distribución en el subsuelo de la Formación Ubajay. a) Mapa altimétrico del techo; b) Mapa isopáquico.

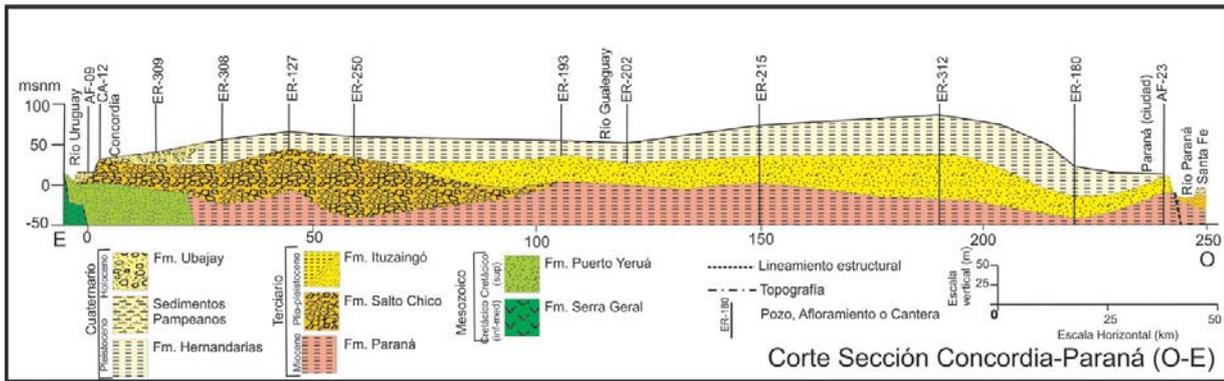


Figura 8: Corte sección Concordia - Paraná.

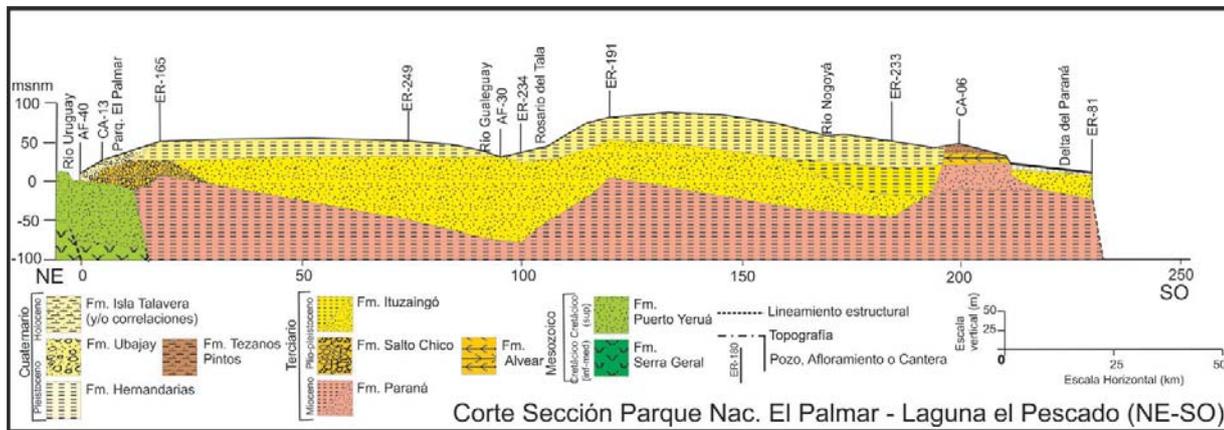


Figura 9: Corte sección Parque Nacional El Palmar - Laguna El Pescado.

bién se observan espesores de 20 m en la zona de Colón-Concepción del Uruguay. Según Mársico (com. pers.) en la costa sur del río Uruguay sobre los calcretes de unidades más antiguas es frecuente encontrar niveles de conglomerados de muy pequeño espesor (no más de 0,2-0,3 m). Las canteras de arenas y gravas más al sudeste están en Punta Caballos (40 km al sur de Guleaguaychú sobre el río Uruguay). Atribuimos estos depósitos a la Formación Ubajay, aunque con dudas, dado que no hay otro pozo o afloramiento cercano. Por esta razón decidimos ser conservadores y no llevar el límite de la unidad más al sur del río Guleaguay de los alrededores de la ciudad donde en algunos pozos se identifican más claramente. Hacia el Este desaparece del registro rápidamente a no más de 20 km desde las costas orientales entrerrianas donde ya es difícil de hallarla y se encuentra reemplazada lateralmente por la Formación Hernandarias. Los depósitos de la Formación Ubajay son ligeramente más modernos que la Formación Hernandarias y de mayor capacidad ero-

siva de forma que se superponen a esta. *Variaciones faciales laterales:* Para comprender mejor las variaciones estratigráficas y faciales laterales se ha recurrido a la representación de cuatro cortes estratigráficos. Estos cortes atraviesan zonas de cambios geológicos y mayor densidad posible de información geológica (pozos, afloramientos, etc.) empleando los datos altimétricos de los contactos de cada unidad. Los cambios en dirección este-oeste son los más adecuados para comprender la relación lateral entre las Formaciones Salto Chico e Ituzaingó (Fig. 8). Un aspecto notorio es la ausencia en el registro de la Formación Paraná a lo largo de toda la banda occidental del río Uruguay hasta 20-25 km al poniente. De este a oeste se observa una potente secuencia de gravas (Formación Salto Chico) que transicionalmente pasa a sedimentos psamíticos acuñándose lateralmente y estando presente en la base de estas unidades con escaso espesor a casi 70 km al oeste del río Uruguay (Fig. 8). Se observa claramente el contacto ero-

sivo basal de estas secuencias y su desarrollo vertical que alcanza los 80-90 m de potencia en los paleocanales. La misma está controlada lateralmente por dos lineamientos estructurales (Stappenbeck 1926). Uno de ellos, el más notorio, es el que subyacería al río Paraná que deja expuestos los afloramientos de la Formación Ituzaingó de lado entrerriano y deja a la Formación Puelches en el subsuelo santafecino. En el río Uruguay el control estructural parece haber afectado al Neógeno pero no parece haber alcanzado claramente a la Formación Salto Chico, aunque estos depósitos aparecen representados en la vecina margen uruguaya denominados Formación Salto (Goso 1965). No obstante, se interpreta que los distintos espesores de la Formación Salto Chico, fueron debidos a la erosión diferencial producida según las diferentes competencias de las unidades subyacentes (cretácicas y paleógenas). El corte estratigráfico de rumbo NE-SO, Parque Nacional El Palmar-Laguna El Pescado (Fig. 9), exhibe desde el noreste y hacia el

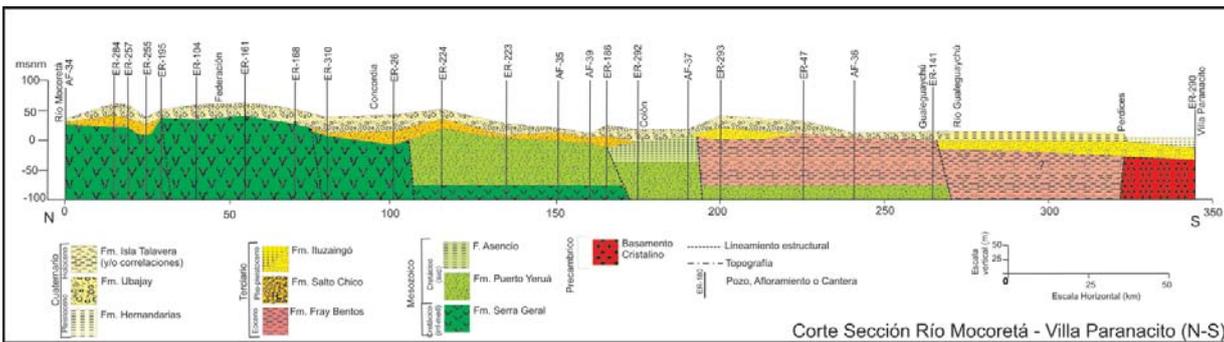


Figura 10: Corte sección Río Mocoretá - Villa Paranacito.

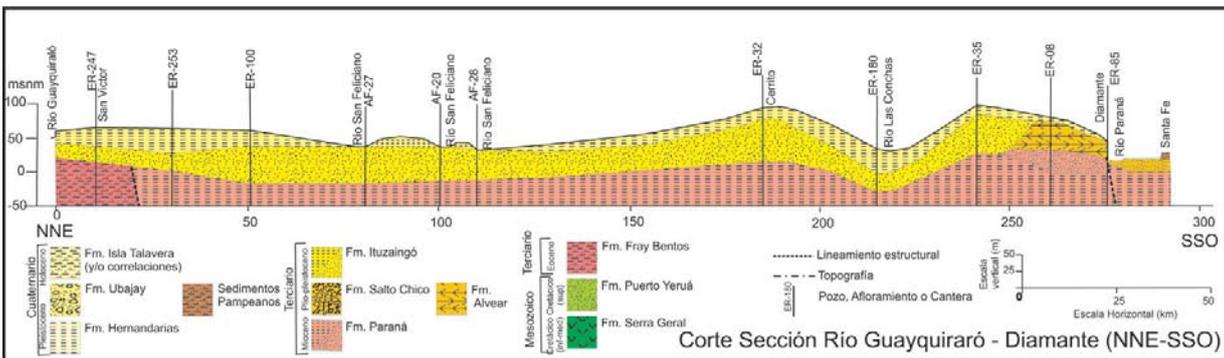


Figura 11: Corte sección Río Guayquiraró - Diamante.

sudoeste como la Formación Salto Chico reduce su extensión lateral, y en el registro del subsuelo no está más lejos que de 30-35 km desde el río Uruguay. Sin embargo, a partir de allí y transicionalmente hacia el oeste la Formación Ituzaingó aumenta gradualmente su potencia hasta alcanzar un máximo (90 m) en la zona del río Gualeguay (donde su techo se encuentra aflorando). Esto sería consecuencia de su importante capacidad erosiva lo que permitió aumentar su espesor. Hacia el sudoeste, vuelve a acunarse y profundizarse en la zona de la cuenca del río Nogoyá, aunque con menor potencia que el anterior. Aquí presenta la particularidad de un fuerte reemplazo lateral de las conspicuas arenas por una potente secuencia de limos y arcillas que puede alcanzar 30 m (Rincón de Nogoyá) para acunarse finalmente contra unidades atribuibles al Mioceno (Formación Paraná) y Plioceno (Formación Alvear). Esta zona abarca una franja NO-SE (aún no bien definida) de no más de 20 km de ancho y probablemente 100 km de largo en la región suroeste de la provincia. La misma constituye un área relictica de no erosión ni deposición por parte de los procesos fluviales plio-pleistocenos que dejaron

la Formación Ituzaingó. Más al sur y suroeste, en el subsuelo del delta, la Formación Ituzaingó (y/o Formación Puelches) nuevamente se encuentran en el registro consecuencia de un posible control estructural (como se mencionó previamente). La Formación Ubajay en ambos cortes (Figs. 10 y 11) se haya depositada por encima de toda la secuencia en una franja norte-sur relativamente paralela al río Uruguay de alrededor de 20 km de ancho. Puede hallarse dispuesta con contacto erosivo sobre las unidades más antiguas (Formaciones Serra Geral, Puerto Yerúa, Fray Bentos, etc.) y sobre las Formaciones Salto Chico e Ituzaingó. Lateralmente grada y se superpone ligeramente y sobre la Formación Hernandarias (probablemente también en contacto erosivo). El corte estratigráfico norte-sur (Fig. 10) muestra una estratigrafía del subsuelo más compleja donde la erosión de los sistemas fluviales desde el plio-pleistoceno hasta la actualidad se ha visto controlado por la diferente competencia de los sedimentos paleógenos y cretácicos además de sus lineamientos estructurales. No obstante, se puede observar que la Formación Salto Chico se ve representada en el registro en la sección centro-norte y,

aunque erosionada en algunos sitios se la identifica claramente hasta la localidad de Colón (Gentili y Rimoldi 1979). En ese punto la Formación Salto Chico pareciera incorporarse al cauce actual del río Uruguay (Iriondo 1996). Al sur, aparecen nuevamente en el registro niveles psamíticos que atribuimos a la Formación Ituzaingó. Esta unidad parece extenderse hasta la localidad de Villa Paranacito, pero debe considerarse esto como una estimación dado que existe una importante escasez de datos en la sección sur del corte. Por encima y en contacto erosivo con toda la diversidad estratigráfica del subsuelo se dispone la Formación Ubajay identificable desde el río Mocoretá hasta la desembocadura del río Gualeguaychú. Al sur se identifican y observan niveles atribuibles a la Formación Hernandarias (Bertolini 1995). Este corte evidencia la diversidad de contactos posibles en el oriente entrerriano, situación que frecuentemente es causa de confusión en la prospección de recursos (agua subterránea, áridos, etc.). El último corte (Fig. 11) posee rumbo NNE-SSW entre el río Guayquiraró y la localidad de Diamante. En él observamos otro rasgo importante relacionado

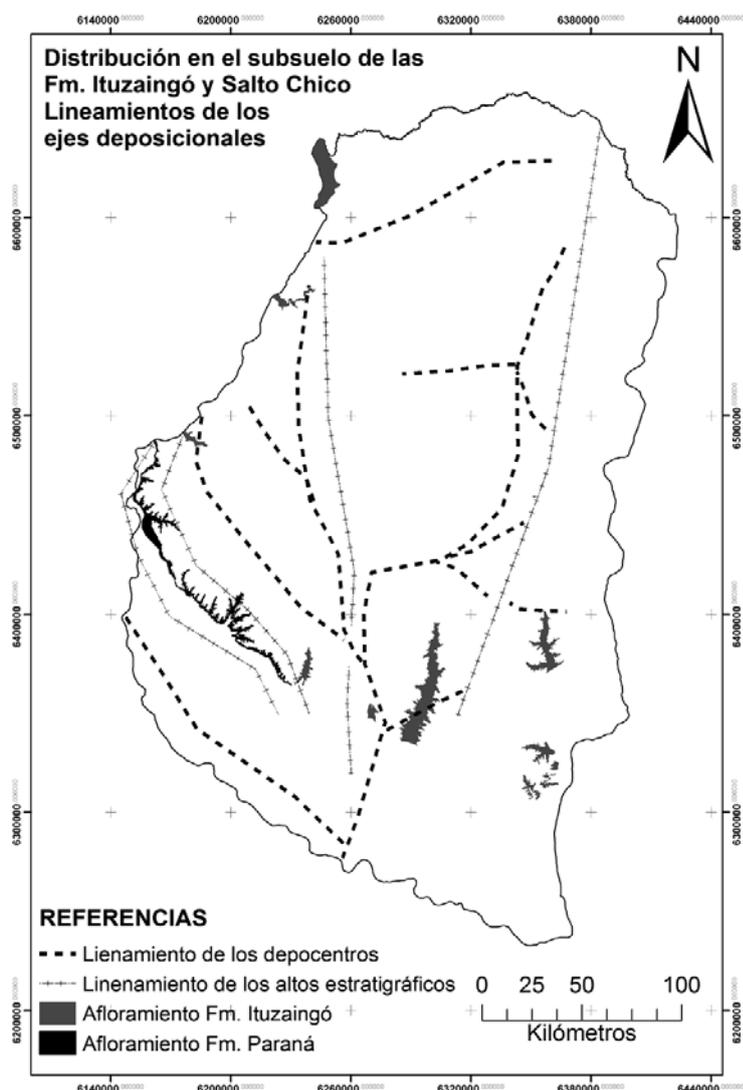


Figura 12: Distribución en el subsuelo de las Formaciones Ituzaiingó y Salto Chico. Lineamiento de los ejes deposicionales.

con la Formación Ituzaiingó la somerización y aumento de potencia en la cuenca del río Feliciano, para luego profundizarse en la cuenca del río Las Conchas y finalmente acuñar nuevamente contra los niveles miocenos (Formación Paraná) y pliocenos (Formación Alvear). En el sector NNE del corte se observa que la Formación Ituzaiingó se someriza, adquiere menor espesor y apoya sobre la Formación Fray Bentos en una zona donde, al igual que en el este, la Formación Paraná está ausente del registro. Esta zona de ausencia en el registro de la Formación Paraná involucra aproximadamente las cuencas medias y altas de los ríos Feliciano y Guayquiraró y probablemente res-

ponda a un control estructural más profundo que afecta hasta el Neógeno. Hacia el SSW se observa la profundización y el aumento de espesor de la Formación Ituzaiingó hasta la cuenca del río Las Conchas donde nuevamente reduce sus espesores.

Hacia la costa del río Paraná cerca de Diamante la Formación Ituzaiingó se acuña lateralmente y se la encuentra en el subsuelo del delta (Silva Busso y Amato, 2005) y en la vecina provincia de Santa Fe a mayor profundidad (Formación Puelches), probablemente controlado por estructuras de falla.

En este corte se sobreimpone en la región la Formación Hernandarias como

lo señalara Bertolini (1995), no obstante, la erosión del río Feliciano ha dejado en su planicie de inundación extensas zonas donde aflora la Formación Ituzaiingó (D'Elía *et al.* 2001).

La interpretación de la cartografía de las Formaciones Ituzaiingó y Salto Chico (Fig. 6a, b) presentada en la Figura 12 se basa en el análisis en conjunto de los depocentros proponiendo una posible distribución de paleocauces y paleocanales. La Formación Ubajay requiere una densidad mayor de información y quedará pendiente para futuros estudios. En la Figura 12 las líneas rectas rayadas discontinuas unen los depocentros (paleocauces) y las líneas con punto y raya los altos estratigráficos de la base de las Formaciones Ituzaiingó y Salto Chico (límites de paleocauces). Esto nos permite reconstruir una paleored de los canales principales para estas unidades. Lo notorio es que podría interpretarse una red de drenaje con un canal principal a partir la ciudad de Rosario del Tala hacia el sur siguiendo el eje de cuenca del río Gualeguay actual. Este paleocanal (al sur de Rosario del Tala) sería producto de la confluencia de un gran paleocanal que llegaría desde occidente y otro paleocanal que llegaría desde oriente. Hacia el sur de dicha confluencia parecería seguir un rumbo cercano al actual tramo inferior del río Gualeguay para finalmente confluir a la altura de la ciudad de Gualeguay. Toda la paleored mencionada confluiría en otro paleocauce colector más occidental de rumbo aproximado NW-SE. Pueden configurarse algunos paleocauces a partir de depocentros de menor extensión que pueden interpretarse como paleoafluentes de esta paleored mencionada. El particular depocentro de la cuenca del río Feliciano es complejo de interpretar, en parte por su rumbo NW-SE y en parte por ausencia de información, pero siguiendo este análisis y contexto se interpreta que funcionó como un paleoafluente del paleocauce colector que como ya se mencionó estaba más hacia occidente y discurriría NW-SE. Del análisis de la disposición de los depocentros del mapa isopáquico (Fig. 6b)

es difícil establecer la edad en la que esta paleored adquiere su diseño o a lo largo de cuánto tiempo se mantuvo. Sugerimos que se considere como la resultante de un sistema de drenaje complejo pero que durante un tiempo significativo conservó al menos las mismas características deposicionales. En este sentido la paleored no señala un canal en particular sino un área de canalización.

Implicancias hidrogeológicas de los depósitos fluviales del Plio-Pleistoceno-Holoceno

Un modelo hidrogeológico resulta de la integración de datos hidrogeológicos en un modelo geológico previo. Por esta razón, los aspectos geológicos mencionados son claves para el entendimiento de un adecuado modelo hidrogeológico de estas unidades, que por su accesibilidad y características acuíferas, resultan las más explotadas de la región.

A escala regional los cambios de litofacies de Formación Ituzaingó (de predominio psamítico) a Formación Salto Chico (de predominio psefítica) explican y determinan las mejores características hidrogeológicas y productivas del Acuífero Salto Chico sobre el Acuífero Ituzaingó. No obstante, ambos acuíferos dada su potencia, litología y extensión son unidades muy productivas. La extensión regional del Acuífero Salto Chico es de 7.870,88 km² y constituye la base de la explotación de aguas para riego de los arrozales entre ríos. Esta unidad suele ser una entidad acuífera de carácter semilibre, aunque en no pocos lugares refleja un estado de funcionamiento libre. Los caudales ensayados en el Acuífero Salto Chico, oscilan entre 200 y 500 m³/h aunque se han alcanzado valores máximos de 800 m³/h (Silva Busso 1999). Auge *et al.* (2005) han verificado caudales mayores a 100 m³/h al sudeste de Entre Ríos (donde es dudosa su presencia y podría tratarse del Acuífero Ituzaingó). Los parámetros hidráulicos calculados son: una transmisividad de 1.500 a 2.100 m²/d, una permeabilidad de 30 a 72 m/d y un coeficiente de almacenamiento entre 1.10⁻¹ a 5.10⁻² (Silva Busso 1999). Según Santi *et al.* (2009) el co-

eficiente de almacenamiento sería de 1.2 10⁻³ a 3.2 10⁻³ (siendo en este caso semi-confinados), la porosidad efectiva 20 %. Su recarga sería esencialmente vertical en el orden de 652 hm³/año en la zonas donde se sobrepone la Formación Ubajay a la Formación Salto Chico siendo la primera relativamente permeable. La recarga sería alóctona donde se sobrepone la Formación Hernandarias (siendo esta un acuífero o acuitardo de muy baja permeabilidad) a la Formación Salto Chico. Esto determina que predominen flujos de recorrido local y menor tiempo de contacto agua roca, por lo que contiene aguas dulces en casi todas las localidades (menores a 1.500 p.p.m.) y raramente se observan aguas salobres o salinas. Estas suelen ser fundamentalmente bicarbonatadas sódicas y/o bicarbonatadas cálcicas. El Acuífero Ituzaingó posee una extensión de 68.570,81 km² (incluyendo el subsuelo del delta), pero sus características hidrogeológicas, aunque muy buenas, son más limitadas que el anterior. Esto es porque presenta acuñaición y cambios laterales en las zonas donde las arcillas o limos reemplazan la arena. Suele ser una entidad acuífera de carácter semilibre a semiconfinado y según Auge y Santi (2002) los caudales oscilan entre 100 y 500 m³/h, con un promedio de 200 m³/h. Para los mencionados autores los parámetros hidráulicos calculados determinan una transmisividad 2.500 m²/d, una permeabilidad 60 m/d, un coeficiente de almacenamiento de 5.10⁻⁴ (confinados), una porosidad efectiva de 20 %, y velocidades efectivas extremas de flujo de 0,14 y 0,37 m/día. Estiman la recarga en el orden del 13 % (149 mm) de la lluvia media anual (1.143 mm), mientras que la descarga natural, se produciría en los ríos (Auge y Santi 2002). Esta última afirmación está actualmente en revisión dado que se ha observado que las condiciones de recarga son más complejas. La sobrepuesta Formación Hernandarias es muy poco permeable y consideramos que solo los afloramientos de la Formación Ituzaingó en los cauces de los actuales ríos podrían permitir una recarga neta importante. Esto determina que predominen flujos

de recorrido alóctonos, más lejanos y con mayor tiempo de contacto agua roca. En favor de esto podemos considerar también los diferentes tipos hidráulicos mencionados, aunque es justo decir que en este punto la escasez de información impide cualquier interpretación más general o regional sobre este aspecto. De acuerdo a Auge y Santi (2002) el Acuífero Ituzaingó contiene aguas dulces y raramente salinidades elevadas y predomina el tipo bicarbonatadas sódicas. No obstante se ha verificado una extensa región en la zona centro-oeste con aguas salobres alcanzando en algunas zonas los 3.500 p.p.m. de sales totales.

El Acuífero Ubajay es una unidad de litología muy diversa, con litofacies psefíticas y psamíticas interdigitadas y siempre con una importante proporción de limos y arcillas en la matriz. Masú *et al.* (2011) determinan porcentajes mayores al 10 % en la matriz lo que limita sus posibilidades acuíferas y su explotación al tal punto que puede comportarse como un acuitardo. Su extensión regional es menor que las anteriores (5.541,79 Km²), pero en la zona de afloramiento y en ausencia en el subsuelo de los acuíferos antes mencionados, es una de las pocas posibilidades de explotación de aguas subterráneas. A pesar de ello es una unidad hidrogeológica poco estudiada y prácticamente desconocida. Masú *et al.* (2011) realizan un primer estudio de carácter hidrogeológico en la cuenca del arroyo El Palmar. También Rossi (2012) en la ciudad de Concordia estudia este acuífero desde una perspectiva más relacionada con implicancias ambientales. Masú *et al.* (2011) obtienen un caudal específico de entre 0,8 y 1,5 m³/h, definiendo un tipo acuífero semilibre con un coeficiente de almacenamiento de entre 0,01 – 0,02 y valores de transmisividad de 48 – 75 m²/d. Dado que aflora su recarga es vertical, sus flujos son cortos y el tiempo de contacto agua roca es breve por lo que las aguas suelen tener salinidades bajas entre 100 a 300 mg/l y raramente están por encima de 500 mg/l. Dada su litología podría suponerse que se trata de un acuífero productivo, sin embargo Masú *et al.* (2011) discuten esta observación

CUADRO 3: Hidroestratigrafía propuesta para las principales unidades.

Unidades Estratigráficas	Edad	Unidad Hidrogeológica	Transmisividad m ² /d
Fm. Ubajay	Holoceno	Acuitardo-Acuifero	50 - 75
Fm. Hernandarias	Pleistoceno	Acuicludo - Acuitardo	sin dato
Fm Ituzaingó/Salto Chico	Plio-pleistoceno	Acuíferos	250 - 2100

con datos hidráulicos concretos limitando su aprovechamiento hidrogeológico para usos humanos y ganaderos de poca demanda. El Cuadro 3 sintetiza las características hidroestratigráficas de las unidades mencionadas.

CONCLUSIONES

Las Formaciones Ituzaingó, Salto Chico y Ubajay aquí estudiadas se sobrepone a la Formación Paraná en gran parte de la región y en menor medida al Paleógeno o al Cretácico, e incluso se sobrepone como en el caso de la más moderna Formación Ubajay con contactos basales erosivos sobre la Formación Salto Chico. La acción erosiva del agente fluvial que dio origen a la depositación de las Formaciones Ituzaingó y Salto Chico logró profundizar sectores del subsuelo, con depósitos muy potentes, paleocanales de gran tamaño, en un paleosistema fluvial de proporciones continentales similares a las actuales. El mismo presenta variaciones faciales de mayor a menor energía de NE-SO hasta acuñar lateralmente con los afloramientos del Neógeno que funcionan como relictos de erosión local, denominados Formación Alvear y Formación Tezanos Pintos.

En el naciente las unidades plio-pleistocenas son controladas por la combinación de lineamientos estructurales y la mayor competencia frente a la erosión de las unidades cretácicas. De norte a sur se muestran más someros en la cuenca del río Feliciano con una clara profundización y aumento de su potencia hacia el sur siguiendo el eje de la cuenca del río Gualeguay, y mostrando evidencias de un sistema integrado que colecta los paleocanales principales en uno solo con vertiente hacia el actual delta. Sobrepuesta a ellos, la más reciente y más extensa de las formaciones cuaternarias en la zona, la For-

mación Hernandarias, es indicativa de un ambiente de depositación de baja energía y puede interpretarse bajo este escenario regional como la consecuencia deposicional de la respuesta del sistema fluvial a un importante cambio en el nivel de base. Esto último sin desmedro de interpretaciones locales debidas a cambios en sus litofacies o estructuras que pudieran estar asociadas. Un nuevo cambio de estas condiciones dio lugar a los procesos de acumulación de la más reciente Formación Ubajay que nuevamente indica un aumento del pulso de energía aunque con oscilaciones importantes que se reflejan en su variada litología. Esta última formación posee contactos erosivos y está restringida al litoral oriental entrerriano. La hidrogeología se presenta de forma más compleja de lo supuesto en nuestras primeras interpretaciones, dado que el modelo hidrogeológico regional es producto directo de interpretaciones geológicas del subsuelo, que avanzan con la aparición de nuevos datos. Los cambios faciales, de espesores, de altimetría y relaciones estratigráficas condicionan las transmisividades, tipo de recarga y almacenamiento de estos acuíferos. Esto explica las variaciones de sus características hidráulicas e hidroquímicas presentados previamente. No obstante lo mencionado, estas unidades acuíferas en conjunto por su litología, extensión y potencia acuífera constituyen una auténtica reserva estratégica de agua subterránea en la región mesopotámica y pueden considerarse como los principales acuíferos de la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. José Cosentino, la Lic. Alicia Rossi y los señores Javier Masú, Norberto Palacios, Enzo Kloster por su colaboración en las tareas de campo. Los editores de la RAGA agra-

decen el trabajo de los revisores Pamela Boujon y Eduardo Mariño.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F. 2000. La Formación Paraná (Mioceno medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes. En: Aceñolaza, F. y Herbst, R. (eds.) El Neógeno de Argentina. Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica 14: 9-27, Tucumán.
- Aceñolaza, F.G. 2007. Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina. Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie de Correlación Geológica 22, 150p., Tucumán.
- Amato, S. 1998. La Formación Puelches; desarrollo areal y relaciones estratigráficas en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (inédito), 98 p., La Plata.
- Amato S. y Silva Busso A. 2009. Estratigrafía Cuaternaria del Subsuelo de la Cuenca Inferior del Río Paraná. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 64: 594-602.
- Amato, S. y A. Silva Busso. 2005. Análisis de interrelación geológica-hidrogeológica en el área del Delta del Río Paraná, Prov. de Entre Ríos y Buenos Aires, República Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 697-704, La Plata.
- Auge M. y Santi A., 2002. Disponibilidad de Agua Subterránea para Producción Arroceras de la Provincia de Entre Ríos. Consejo Federal de Inversiones y Dirección Provincial de Hidráulica de Entre Ríos (inédito), 55 p., Buenos Aires.
- Auge, M., Sánchez, C. y Santi, M. 2005. Hidrogeología de la región arroceras de Entre Ríos. 4º Congreso Hidrogeológico Argentino, Actas 1: 1-9, Río Cuarto.
- Bertolini, J.C. 1995. Mapa Geológico de la Provincia de Entre Ríos, República Argentina, 1:500.000. Servicio Geológico y Minero Argentino, Buenos Aires.
- Bianchi A. y Cravero, S. 2010. Atlas Climático Digital de la República Argentina. Ediciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 57 p., Buenos Aires.
- Bossi, J., 1966. Geología del Uruguay. Universidad de la República, Departamento de Publi-

- caciones, Colección Ciencias 1-470, Montevideo.
- Bossi, G., Ferrando, L., Fernández, A., Elizalde, G., Morales, H., Ledesma, J., Carballo, E., Medina, E., Ford, I. y Montana J. 1975. Carta Geológica del Uruguay, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes, Montevideo.
- Boujon P. y Sancí, R. 2014. Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero libre en la cuenca del Arroyo el Cura, Gualaguaychú, Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71: 275 - 291.
- Chebli, G., Tófolo, O. y Turazzini, G. 1989. Mesopotamia. En: Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.) *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica N°6: 79-100, Tucumán.
- De Alba, E. 1953. Geología del Alto Paraná, en relación con los trabajos de derrocamiento entre Ituzaingó y Posadas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 8: 129-161.
- De Alba, E. y Serra, N. 1959. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Informe sobre las condiciones y características geológicas. Dirección Nacional de Geología y Minería, *Anales* 11, 45 p., Buenos Aires.
- D'Elía, M., Filí, M.F., Paris, M., Pérez, M. y Tujchneider, O. 2001. Ambientes Hidrogeológicos de la Provincia de Entre Ríos - República Argentina. *Las caras del Agua Subterránea*. Congreso en Memoria de Germán Galarza 2: 537-540.
- Dirección Nacional de Geología y Minería 1965. *Perfiles de perforaciones. Período 1910-1915*. Publicación 146, 250 p., Buenos Aires.
- Fernández Garrasino, C. 1992. El "Alto de Asunción" en la Mesopotamia argentina. 4° Reunión Argentina de Sedimentología, *Actas* 1: 191-198, La Plata.
- Fernández Garrasino, C. 2008. SAG. Aspectos estratigráficos y tectónicos (2). Organización de los Estados Americanos, Secretaría General Proyecto Sistema Acuífero Guaraní (inédito), 205 p., Montevideo.
- Fernández Garrasino, C. y Rezoagli G. 2008. Geología, Provincia de Entre Ríos (Informe Final). Geodatos SRL (inédito), 130 p., Buenos Aires.
- Fernández Garrasino, C., Laffitte, G. y Villar, H. 2005. Cuenca Chacoparanaense. En: Chebli, G.A., Cortiñas, J.S., Spalletti, L.A., Legarreta, L. y Vallejo, E.L. (eds.), *Frontera Exploratoria de la Argentina*, 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 97-114, Mar del Plata.
- Filí, M. F., Tujchneider, O., Pérez M. y Paris M., 1993. Investigaciones Geohidrológicas de la Provincia de Entre Ríos. *Temas Actuales Sobre Agua Subterráneas*. *Actas* I: 299-315, Mar del Plata.
- Frenguelli, J. 1920. Geología de Entre Ríos. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*, 24: 55-256.
- Gentili, C. y H. Rimoldi 1979. Mesopotamia. 2° Simposio de Geología Regional Argentina 1: 185-223, Córdoba.
- Gentili, C., Rosenman, H. y Lourenco, A. 1974. Características geológicas generales del territorio brasileño, en la faja adyacente al curso medio del río Uruguay. *Revista Asociación Geológica Argentina* 29: 223-230.
- Goso, H., 1965. El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay, 125 p., Montevideo.
- Goso, H. y Bossi, J. 1966. Cenozoico. En: Bossi, J. (ed.) *Geología del Uruguay*, Departamento de Publicaciones, Universidad de la República: 259-301, Montevideo.
- Herbst, R. 2000. La Formación Ituzaingó (Plioceno). Estratigrafía y distribución. En: Aceñolaza, F. y Herbst, R. (eds.) *El Neógeno de Argentina*. Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica 14: 181-190, Tucumán.
- Herbst, R., Santa Cruz, J., Popolizio, E., Capurro R. y Escobar, E. 1985. Mapa Litoestratigráfico de la Provincia de Corrientes. *D'Orbignyana* 2: 1-50.
- Iriondo, M. 1980. El cuaternario de Entre Ríos, *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 11:125-141.
- Iriondo, M.H. 1996. Estratigrafía del Cuaternario de la Cuenca del Río Uruguay. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, *Actas* 4: 15-25, Buenos Aires.
- Lambert, R. 1940. Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del Departamento de Paysandú y de los alrededores de Salto. Instituto Geológico del Uruguay, *Boletín* 27b, 41 p., Montevideo.
- Mársico, D. 2013. Aportes a la perspectiva geológica e hidrogeológica regional en el sector centro este de la Cuenca Chacoparanaense. Tesis doctoral, Universidad de La Coruña (inédita), 209 p., La Coruña, España.
- Masú J., Silva Busso A. y Amato S. 2011. Aspectos Geológicos del Acuífero Salto Chico en la Cuenca del Arroyo El Palmar, Provincia de Entre Ríos, República Argentina. 7° Congreso Argentino de Hidrogeología, *Actas*: 145-152, Salta.
- Padula, E. y Mingramm, A. 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico - sedimentario del "Triásico" en el subsuelo de la llanura Chaco - Paranense. 3° Jornadas Geológicas Argentinas, *Actas* 1: 291-331, Buenos Aires.
- Proyecto Acuífero Guaraní 2009. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Síntesis sobre la Geología del Sistema Acuífero Guaraní. Informe Final, Consorcio Guaraní. Tomo 1, Volumen 1, 376p., Montevideo, Uruguay.
- Reig, O. 1956. Sobre la posición sistemática de "Zygolestesparanensis" Amegh. y de "Zygolestes entrerrianus" Amegh. *Revista Holmbergia* 5): 209-226.
- Rimoldi, H. 1963. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Estudio geológico-geotécnico para la presa de compensación proyectada en el Paso Hervidero. 1° Jornadas Geológicas Argentinas, *Anales* 2: 287-310, Buenos Aires.
- Rossi A. 2012. Aspectos de la contaminación con nitratos en el agua subterránea de la Ciudad de Concordia, Entre Ríos. Trabajo Final Especialista en Ingeniería Ambiental, Universidad Tecnológica Nacional (inédito), 165 p., Concordia.
- Santa Cruz, J. 1972. Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 27: 5-62.
- Santi, M. 2002. Estudio de Aguas Subterráneas en el Sudoeste de la Provincia de Entre Ríos. Consejo Federal de Inversiones (inédito), 95 p., Buenos Aires.
- Santi, M. y Bianchi, G. 2004. Estudio de Aguas Subterráneas en la Región Sudeste de la Provincia de Entre Ríos. Consejo Federal de Inversiones y Dirección Provincial de Hidráulica de Entre Ríos (inédito), 248 p., Buenos Aires.
- Santi M., Casa H., Lell L. y Martínez J. 1995. Estudio de Aguas Subterráneas. Consejo Federal de Inversiones y Dirección Provincial de

- Hidráulica de Entre Ríos (inédito), 543 p., Buenos Aires.
- Santi, M., Bianchi, G. y Rezzónico, G. 2009. Agua Subterránea en el Noreste de Entre Ríos. 6° Congreso Argentino de Hidrogeología, Planificación y Gestión de Aguas Subterráneas, Actas: 63-72.
- Silva Busso, A. 1999. Contribución al conocimiento geológico e hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense oriental argentina. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 422 p., Buenos Aires.
- Silva Busso, A. y Fernández Garrasino, C. 2004. Presencia de las Formaciones Piramboiá y Botucatu (Triásico – Jurásico) en el subsuelo oriental de la Provincia de Entre Ríos. Revista de la Asociación Geológica Argentina 59: 141-151.
- Silva Busso A. y Amato S. 2013. Posibilidades de Explotación y Demanda Hídrica sobre el Acuífero Ubajay en el Sector Oriental de la Provincia de Entre Ríos, 24° Congreso Nacional del Agua, Actas: 2-56, San Juan.
- Silva Busso A., Machado P. y Cosentino J. 2011. Propuesta de Control de las Estructuras del Subsuelo sobre la Geología Terciario-Cuaternaria y su Relación con la Geomorfología Fluvial en la Provincia de Entre Ríos. Convenio YPF-UTN Facultad Regional Concordia (inédito), 235 p., Concordia.
- Silva Busso, A., Masú J., Machado P. y Cosentino J. 2012. Aplicación de los Métodos Geoeléctricos como Apoyo en la Caracterización de Acuíferos suprabasálticos en la Prov. de Entre Ríos. Revista Hypatia 2: 41-56.
- Stappenbeck, R. 1926. Geologie und Grundwasserkunde der Pampa. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 409 p., Stuttgart.
- Tófalo, O. 1986. Caracterización sedimentológica y estratigrafía de las Formaciones Puerto Yerúa y Arroyo Avalos, provincias de Entre Ríos y Corrientes, Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 208 p., Buenos Aires.
- Tonni, E. 1987. *Stegomastodon platensis* y la antigüedad de la Formación El Palmar en el departamento Colón, Entre Ríos. Ameghiniana 24: 323-324.
- Wahnish, E. 1937. Breve Reconocimiento Geológico de la parte Suroeste de Entre Ríos. Ministerio de Agricultura, Dirección de Minas y Geología (inédito), 43 p., Buenos Aires.

Recibido: 3 de marzo, 2016

Aceptado: 3 de abril, 2017