



EL ORIGEN DEL LAGO YPACARAÍ: UNA HIPÓTESIS

THE ORIGIN OF YPACARAI LAKE: A HYPOTHESIS

MOISÉS GADEA*

*Encargado de Cátedra - Petrología Sedimentaria. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción. E-mail de contacto: moi7moses@yahoo.com.

Resumen: Se realiza una interpretación de datos hidrogeoquímicos y se establece un mapa paleogeográfico regional para proponer una hipótesis acerca del origen del lago Ypacaraí. El valle tectónico del mismo nombre, cuya fisiografía se relaciona con la tafrogénesis del rift de Asunción durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior y su evolución hasta el Paleógeno Superior, se había sumergido bajo el mar Chaqueño luego del final de la Reactivación del Ciclo Andino en Paraguay. Este brazo marino se estableció en forma de estuario hasta las inmediaciones de Pirayú en el Mioceno Medio-Superior. En el tiempo de su regresión, durante el Mioceno Superior-Plioceno Inferior, debido a condiciones topográficas favorables, el cuerpo de agua había sido capturado y permanecido como remanente de aquel mar en la zona más deprimida del valle. Sus aguas saladas se tornaron dulces por los aportes de los cursos hídricos de sub-cuencas desarrollados *a posteriori* de la continentalización de la zona y las aguas meteóricas que modificaron su concentración original de sales disueltas por meromixis ectogénica. Por sucesión de eventos geológicos, se estima una edad de 7.24 a 3.60 millones de años para el lago, lapso que se extiende desde el Mioceno tardío hasta el Plioceno temprano.

Palabras Clave: Lago Ypacaraí. Mar Chaqueño. Evaporitas. Valle de Ypacaraí. Rift de Asunción. Valle Tectónico.

Abstract: Based on a hydrogeochemical data interpretation and a regional palaeogeographical map a hypothesis on the origin of Ypacaraí Lake is proposed. The physiography of a tectonic valley of the same name is related with the taphrogenesis of the Asuncion rift during the Late Jurassic – Early Cretaceous. This valley towards the Late Palaeocene, was submerged under the locally known as the Chaqueño Sea after the end of the Andean Reactivation Cycle in Paraguay. This sea branch was established as an estuary until nearby Pirayú in the Middle-Late Miocene. During the regression of this sea branch, in the Late Miocene-Early Pliocene, due to favourable topographic conditions, the water body was caught and stood as a remnant of that sea on the lowest zone of the valley. Its saline waters became fresh due to the supply coming from the fluvial discharge of sub-water-sheds developed after the zone turned into a terrestrial region and the rainfall water shifted its original concentration of total dissolved salts by ectogenic meromixis. By the geological sequence of events, an age of 7.24 to 3.60 million years is estimated for the lake, which corresponds to the Late Miocene – Early Pliocene.

Key Words: Ypacaraí Lake, Chaqueño Sea, Evaporites. Ypacaraí Valley. Rift of Asunción. Tectonic Valleys.

El Lago Ypacaraí se localiza entre los paralelos -25.230654° y -25.371405° , y los meridianos -57.275903° y -57.382970° . Se sitúa en el margen izquierdo del centro-Sur de la Región Oriental aproximadamente a 42 km por carretera al Este de la ciudad de Asunción. Se dispone alineado al valle del mismo nombre con sentido NO-SE, flanqueado por la cordillera de los Altos al Este y las elevaciones del Bloque Asunción al Oeste (Figura 1).

Este lago presenta una geometría de forma

casi triangular-rectangular; es sinuosa en su segmento oriental, en cuyo centro se establece la ciudad de San Bernardino, y recto en su margen occidental, donde se asienta la localidad de Areguá, muy al norte del mencionado eje (Figura 2). Ocupa un área aproximada de 62 km², la cual es de carácter endorreico, por su desconexión con el entorno marino.

Su profundidad máxima es de 2.81 metros (Ritterbusch, 1988). El recipiente se profundiza en los arrimos de su cabecera norte, y se hace



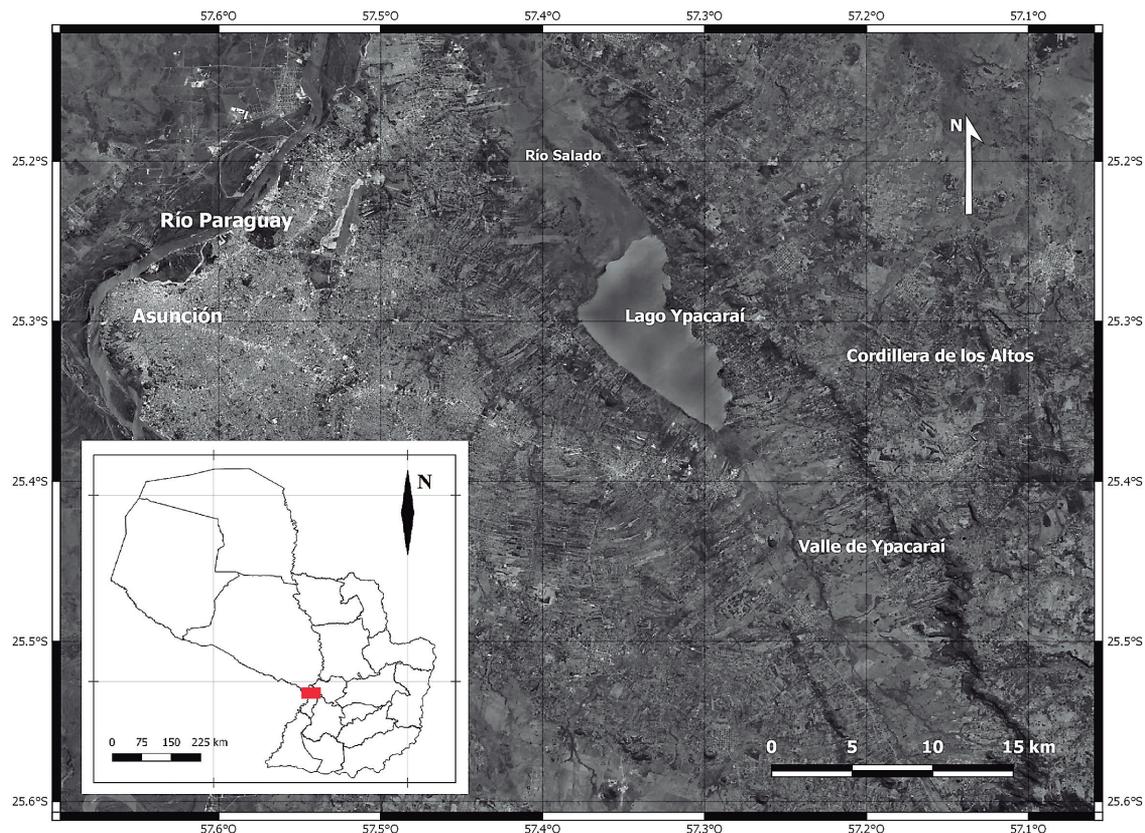


Figura 1. Situación geográfica del Lago Ypacaraí.

más somera hacia el sur-este donde convergen sus ejes laterales en la zona de la ciudad de Ypacaraí. El Río Salado nace en la cabecera norte de este lago y fluye acompañando el sentido preferencial del valle y del lago, hasta su desembocadura en el Río Paraguay. Este río es el emisario principal del lago.

Consideraciones iniciales

Durante un muestreo regional de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño, con el propósito de conocer su mineralización y sus condiciones para consumo humano, se ha reconocido la existencia de una correlación entre las ocurrencias de aguas saladas, el suelo, la vegetación y la topografía.

En las aguas de los pozos de Villa Jardín Limpio (SEAM, 2016), en la urbanización Surubi í (M.R.Alonso), y en Mbiguá (Asunción),

se han verificado valores de conductividad eléctrica muy elevados (Gadea, 2017), y en la urbanización Nueva Asunción, ubicada en

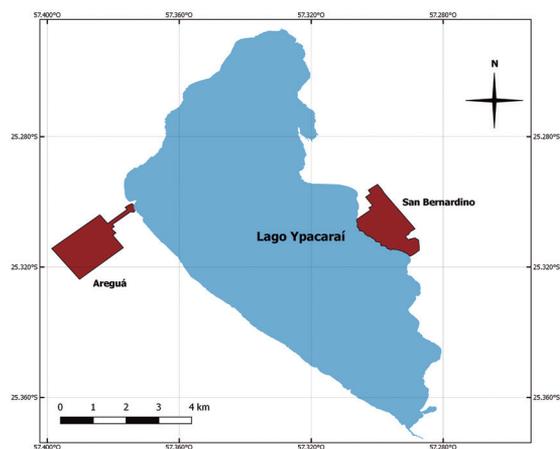


Figura 2. Morfología y poblados aledaños al Lago Ypacaraí.

el borde sur del Río Salado en Luque (Villar, 2019; comunicación personal). El carácter salino de este tipo de aguas subterráneas ya resulta con frecuencia comprobable por su propiedad organoléptica, del sabor intenso a salmuera, y que posteriormente es confirmado instrumentalmente, señalando el elevado contenido iónico disuelto, entre ellos el cloruro de sodio.

Continuando con el argumento anterior, como se ha visto, se registran ciertos rasgos naturales y físico-químicos en asociación, como ser, alta salinidad de las aguas subterráneas, suelos del tipo alfisoles, abundantes ejemplares de *Copernicia alba* (caranday) en la vegetación y lugares de planicies en cotas relativamente bajas (Figura 3).

La mencionada conjunción de elementos naturales es recurrente en zonas donde las aguas subterráneas son saladas (o salobres) y recuerdan paisajes del bajo Chaco, que están geológicamente compuestos por la Formación Chaco (Proyecto PAR, 1986).

La Formación Chaco se expresa geográficamente en una gran franja regional que ocupa el centro y el oriente del Chaco Paraguayo hasta el litoral del Río Paraguay. No se restringe netamente

hasta el cauce principal del mencionado Río Paraguay, sino que se prolonga allende la Región Oriental a pocos kilómetros del mencionado río; de lo cual se deduce que la Formación Chaco fue sedimentada antes de la aparición del Río Paraguay, anterior al Pleistoceno tardío – Holoceno temprano.

Las siguientes preguntas pueden formularse: ¿De dónde aparecieron las evaporitas en forma de sal gema, yeso y otros en el Chaco?; ¿Por qué las aguas subterráneas chaqueñas son saladas o salobres en grandes extensiones de superficie en las planicies del Chaco donde se realizan prospecciones hidrogeológicas?

Algunos investigadores nacionales (Larroza y Fariña, 2005) atribuyen la salinidad de las aguas subterráneas, especialmente en las zonas chaqueñas y en sectores aledaños al litoral del Río Paraguay, como la consecuencia de la circulación de las aguas subterráneas que interceptan y se mineralizan al contactar físicamente en su devenir con rocas evaporíticas que fueron depositadas durante una transgresión marina en forma de paleoestuario en tiempos del Cenozoico tardío.

El mencionado Mar Chaqueño ha sido am-



Figura 3. *Copernicia alba* (caranday), alfisoles y llanuras, usualmente comunes en zonas con aguas freáticas saladas. Característico de la Formación Chaco. Localidad de M.R. Alonso y Limpio.

pliamente estudiado por autores en Argentina (Bravard, 1858; Sprechmann et al., 1999; Del Río, 2001; Aceñolaza, 2004; Orfeo, 2005) y varios otros, quienes lo describen como una transgresión marina de características del Mar Mediterráneo o del Mar Báltico durante el Mioceno medio – tardío, y lo denominan como el Mar de Bravard, Paranaense, Entrerriano o Chaqueño (Miraglia, 1963).

Aceñolaza (2004) señala una gran actividad tectónica al final del Oligoceno y durante el Mioceno temprano y medio (localmente conocido como “Reactivación Andina”), el cual permite la existencia de una transgresión marina en forma de golfo, inundando las Pampas y la Mesopotamia argentina.

Según autores, este mar era del tipo Báltico, aunque en condiciones más tropicales (Sprechmann et al., 1999; Aceñolaza, 2004), en donde el registro fosilífero es amplio y típico de mares abiertos, como ballenas, tiburones, moluscos, etc. y que la masa de agua se extendió hasta el Chaco paraguayo y el sur de Bolivia (Aceñolaza, 2004).

Miraglia (1963) señaló que entre la cordillera de los Andes y el paleocontinente brasileño (se refería a la cuenca del Paraná), existió en Paraguay, un mar del tipo Mar Mediterráneo, al que lo denominó “Mar Chaqueño”. El reporte de hallazgos paleontológicos que proporcionan evidencia acerca de la existencia de dicho mar en Paraguay, fue realizado por Bertoni (1939), en donde *Ostrea magellanica*, *Turritella* y fragmentos de *Nummulites* conforman parte del registro en las rocas cercanas a Villeta. Dicha interpretación debería ser sometida a revisión, con la realización de nuevas expediciones y estudios paleontológicos para poder ser confirmado.

Se desconoce la distribución paleogeográfica del Mar Chaqueño en Paraguay (el cual es llamado así por su afinidad toponímica con parte de la geografía del Paraguay, el Chaco paraguayo), y ante la escasez del registro paleontológico, se recurre a las manifestaciones de facies saladas, de evaporitas en lentes, o eflorescencias y po-

zos con aguas subterráneas de carácter salado cercanos al Río Paraguay y al Chaco para asomarnos a la idea del despliegue superficial del Mar Chaqueño durante su antigua presencia en Paraguay, en consideración a los argumentos de Larroza y Fariña (2005), Aceñolaza (2004), Teruggi (1970) y Orfeo (2005), entre otros autores. Aceñolaza (2004) considera la salinidad/salobridad de las aguas de lagunas y humedales (o que se hayan tornado dulces) con depósitos de yeso como relictos de aquel mar luego de su regresión. Teruggi (1970; en: Orfeo 2005) menciona extensas áreas pantanosas con depósitos de yeso generadas durante la somerización del ambiente marino.

En un pozo ubicado muy cerca de Asunción (Surubi í), se ha verificado *in situ* la salinidad del agua que corresponde a la concentración de sales en agua marina (Gadea, 2017), con una media de 3.5% (Conzonno, 2009).

Los sedimentos observados en la zona del pozo, cabe resaltarlos, presentan todas las características de la Formación Chaco. Además, se señala el reporte de eflorescencias salinas en Arecayá (zona de Surubi í) (Miraglia, 1963).

El significado de estas eflorescencias no puede ser otro que se trate de un relleno mineral cutáneo de los poros de los suelos, donde el solvente con carga mineral es evaporado durante un ascenso capilar de las aguas subterráneas y el soluto permanece como mineralizaciones en los espacios intersticiales del suelo formándose así los suelos salados, denominados barreros. Esto debería ocurrir en periodos de aridización en una región, cuando la evapotranspiración (fuga) predomina sobre la recarga (aporte) de un acuífero.

Cuando la evaporación es el elemento preponderante durante el ciclo hidrológico con respecto a los demás, los cuerpos de agua existentes en su mayoría serán salobres o salados debido a la acumulación de iones. Esta realidad se acentúa en regiones donde la intensa evaporación, y los lentes freáticos cerca de la superficie están ubicados a 1 metro, el agua asciende por

capilaridad liberando sales en la superficie del suelo (Esteves, 1998).

El trabajo de Geoconsultores (1998), divide a la Formación Chaco en Inferior y Superior. Hacia la sección basal de la Formación Chaco Inferior (Eoceno Superior – Plioceno Superior) se reconoce un nivel de arcillitas grises-verdosas con horizontes de yeso y halita (pozo de prospección de hidrocarburos Palo Santo #1), que contienen palinomorfos marinos de ambientes playos y calmos. Estos sedimentos fueron correlacionados con la Formación Paraná, que se presenta en Argentina, correspondientes a los depósitos de la transgresión marina desde el Océano Atlántico durante el Mioceno tardío – Plioceno tardío (Geoconsultores, 1998).

Luego del corto lapso marino, prosiguió la depositación de sedimentos continentales fluvio-lacustres, que fueron determinados por análisis de polen en el pozo Palo Santo #1 y que señalan una edad pliocénica (Geoconsultores, 1998).

La Formación Chaco Superior (Plioceno Superior – Pleistoceno Inferior) está constituida por una secuencia alterna de areniscas, siltitas y arcillitas con frecuentes nódulos de yeso y carbonatos. Estas capas son señaladas como depósitos fluviales, abanicos aluviales, lagunas fangolíticas y salinas que fueron datadas, por medio de palinomorfos, como del Plioceno Tardío al Pleistoceno Inferior (Geoconsultores, 1998).

De lo anteriormente expuesto, se interpreta que los niveles fosilíferos del Mar Chaqueño se localizan por debajo de la Formación Chaco Superior, la cual se observa en grandes superficies del Chaco paraguayo, en donde exhudaciones salinas en sus suelos en temporadas estivales o de sequías son frecuentes, y cuya fuente primaria proviene de los estratos subyacentes depositados por el Mar Chaqueño.

Revisando el perfil estratigráfico del pozo de monitoreo 38 de la SEAM (CKC-JNS, 2007) en Villa Jardín- Limpio, se lee en su descripción que por debajo de los sedimentos expuestos en superficie y muy parecidos a los llanos chaque-

ños, a pocos metros de profundidad, se encuentra un nivel con minerales evaporíticos, de donde se concluye que Formación Chaco Superior sucede inmediatamente a los sedimentos marinos del Mar Chaqueño.

La actual llanura herbosa del Chaco representa el relleno sucedáneo al Mar Chaqueño (Miraglia, 1963). Esta llanura herbosa mencionada por Miraglia (1963) se asume como rasgo integrante de la Formación Chaco Superior, siendo la primera manifestación de depositación continental luego de la retirada del Mar Chaqueño.

Varios autores mencionaron facies salobres en el centro, noroeste y oeste de Argentina relacionadas con la transgresión marina terciaria, que posteriormente se vio confirmada paleontológicamente con los hallazgos microfaunísticos, determinando así una misma asociación en todos los depósitos de aquellas regiones (del Río, 2001).

Eckel (1959) reportó pozos someros a pocos kilómetros de la ciudad de Asunción que producen fuertes salmueras. Demersay (1860) y Du Graty (1865), en Eckel (1959), mencionan extracción de sal a partir de suelos salados, de eflorescencias y estanques secos en las cercanías del Río Salado (el emisario del Lago Ypacaraí). El nombre del Río Salado es sugerente al respecto, por ser toponímico.

Palmieri (1968) señaló la presencia de mineralizaciones de sal gema en las aguas del Arroyo Yukyry (este nombre en guaraní significa salmuera), y de una actividad minera artesanal en el pasado reciente para obtención de sal a partir de eflorescencias; en Capiatá, Maramburé (Luque), Areguá (Yukyry y Valle Pucú), todos ellos dentro de la cuenca del Lago Ypacaraí.

También otros lugares en Asunción y alrededores, como Yukyty (Cateura), Tacumbú (pozo), Banco San Miguel y Arecayá (Miraglia, 1963), Pozo de monitoreo 38 de la SEAM, pozo en el Club Mbiguá (Cardozo y Crosa, 2006), pozo en Surubi í (Gadea, 2017), Yukyty, Nueva Italia (Carvalho, 2017; comunicación personal).

Todos estos lugares mencionados, presentan conjunción con las características especificadas que se asocian a la Formación Chaco.

El Lago Ypacaraí

Muchos lagos en zonas templadas se relacionan genéticamente a procesos catastróficos, como el deshielo de los glaciares, actividad volcánica o procesos tectónicos. Sin embargo, en los trópicos, la mayoría de las lagunas o ciénagas han tenido origen fluvial o influencia marina en sus costas (Roldán y Ramírez, 2008).

El Lago Ypacaraí es consignado como de origen tectónico por diversos autores (ICB, 1985; Iriondo, 2009). Sin embargo, existen algunas consideraciones a ser tenidas en cuenta para demostrar que dicho argumento podría no ser válido, y que aquí serán brevemente expuestas y analizadas.

Los lagos son elementos morfológicos temporales, efímeros y transitorios en los paisajes. Estos cuerpos de agua son de corta duración en el tiempo geológico, y los de mayor antigüedad pertenecen a los del tipo tectónico, siendo muy comunes en zonas de grabens (Löffler, 2004).

Ciertamente el Lago Ypacaraí se encuentra en una zona profundamente afectada por tectonismo en varios episodios en un escenario de *rift* continental (Proyecto PAR, 1986). En ese orden, el lago se sitúa en el valle homónimo, originado por subsidencia, distensión y obliteración selectiva (Degraff et al., 1981), cuyo inicio es considerado como del Jurásico tardío, teniendo su evolución durante el Cretácico y su establecimiento final en el Paleógeno (Velázquez, 1992).

En el tiempo de remoción de diversas litologías para el desarrollo de la cubeta que representa el valle de Ypacaraí, se habrá producido el socavamiento completo de los grupos Itacurubí y Caacupé, exhumando y estableciendo como nivel de base del valle a las rocas ígneas de la Suite Magmática Caapucú (BGR y MOPC, 2000), y las rocas del Grupo Paso Pindó, en sectores restringidos.

Esto puede interpretarse como el proceso

de denudación de las rocas paleozoicas que anteriormente ocupaban el valle, cuyo inicio se estima en el Jurásico tardío (coincidente con el inicio del *rifting*), y la erosión completa hasta exponer las rocas del basamento habría culminado en el Paleógeno tardío.

La presencia del basamento se argumenta en el trabajo geofísico de Degraff et al. (1981), donde se demuestra que en la zona existe un alto gravimétrico. Así mismo, por los trabajos actuales de hidrogeología en prospecciones para búsqueda de agua subterránea, donde los perforistas atestiguan presencia de granito por debajo de los sedimentos en el valle, y resulta habitual encontrarlo a escasa profundidad (Melgarejo, 2017; comunicación verbal).

Según informes técnicos (Melgarejo, 2019), a orillas del Lago Ypacaraí, en la zona de San Bernardino se verifica una secuencia estratigráfica de formación reciente que descansa en dis-

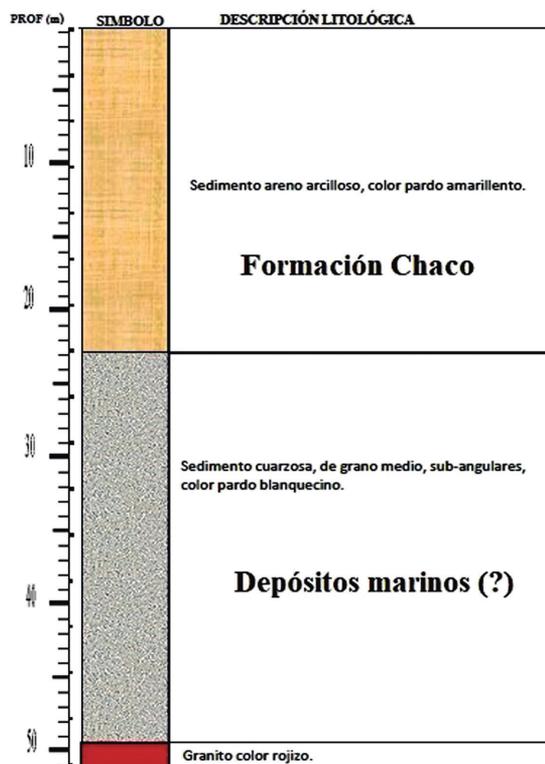


Figura 4. Secuencia estratigráfica en un pozo ubicado a orillas del Lago Ypacaraí en la zona de San Bernardino. Gentileza: Manuel Melgarejo.

cordancia sobre el basamento cristalino (Figura 4). Esta secuencia presupone a la Formación Chaco en superficie, seguido por un depósito de 26 metros de espesor, hasta su contacto con el granito y una unidad geológica desconocida.

Cabe destacar, que los filtros distribuidos en el pozo fueron colocados en contacto con este estrato y que los valores de conductividad eléctrica de sus aguas subterráneas son muy elevados, lo cual indica su mineralización.

Este estrato eventualmente podría representar a un episodio de sedimentación marina (aunque aún no se han hallado fósiles), y esto se determina por correlación con el pozo de monitoreo 38 de la SEAM (CKC-JNS, 2007) en Villa Jardín - Limpio, en donde se comprueba la presencia de minerales evaporíticos en el estrato que se encuentra inmediatamente por debajo de la Formación Chaco Superior.

La Formación Chaco (Superior) se despliega a lo largo del valle Ypacaraí, desde el Río Paraguay en la zona de Piquete Cué, prolongándose hasta las inmediaciones de la ciudad de Pirayú, y posiblemente en las cercanías de Paraguari, por los remanentes de evaporitas que salinizan las aguas de pozos tubulares profundos de la Unidad Militar de Artillería. Se ha acotado que dicha Formación sigue en sucesión de eventos a la regresión marina del Mar Chaqueño.

Habiendo dicho esto, se argumenta que el lago no podría haberse originado sin antes culminar el proceso de denudación completa del valle hasta alcanzar los niveles de rocas cristalinas cámbricas y/o precámbricas. El aprisionamiento de agua debió producirse entonces cuando en la base del valle las rocas de la Suite Caapucú estaban expuestas en superficie, lo cual sugiere que sería posterior al Paleógeno tardío.

Primariamente, la fosa debió ser establecida por obliteración (Degraff, 1981) paulatina y selectiva, lo cual no fue coincidente con el desplazamiento cortical acaecido inicialmente durante el Jurásico tardío – Cretácico temprano.

Es incuestionable que el lago se encuentra en un valle tectónico. El cuerpo de agua debió haber

sido acumulado posteriormente al vaciamiento de la cubeta para el desarrollo del valle, y no durante ni inmediatamente al inicio del *rifting*, por lo cual su origen no pudo haber sido del tipo tectónico.

Los lagos más antiguos hoy existentes aparecieron durante el Cenozoico. El Lago Baikal, en Siberia oriental, el más antiguo (de edad Oligoceno) y más profundo (1.637 m) del mundo, con un área de 31.500 Km² y un volumen de 23.000 Km³ data de aproximadamente 30 – 33 millones de años, el cual lo hace el lago de mayor antigüedad que cualquier lago existente (Löffler, 2004).

El origen de los lagos se observa reconociendo sus formas, que atestiguan acerca de su génesis. Los lagos kársticos (por disolución), volcánicos o meteoríticos se adecuan en formas circulares o semicirculares; los de origen tectónico se disponen en formas subrectangulares y los embalses costeros o con barreras de arena tienden a ser triangulares (Roldán y Ramírez, 2008).

Los lagos triangulares son aquellos que fueron formados por inundación de valles no separados por bancos tales como dunas, barreras, diques o presas artificiales (Löffler, 2004). El Lago Ypacaraí se dispone geométricamente de modo triangular, con su eje máximo alineado al del eje del valle.

Por los argumentos expuestos, es decir, tafrogénesis del *rift*, tiempo de evolución y establecimiento del *rift* y el valle, transitoriedad de los lagos y su morfología, se propone que el lago no sería relacionable con la formación inmediata del *rift* de Asunción. Por lo tanto, se considera que su origen no podría ser tectónico, y presenta características de embalsamiento, denotado por su peculiar geometría triangular.

Paleoestuario

Los mares Caspio y Negro son remanentes del antiguo Mar de Parathetys. Los miles de lagos de Escandinavia y Canadá, en cambio, son el resultado del retroceso de los glaciares y cambios

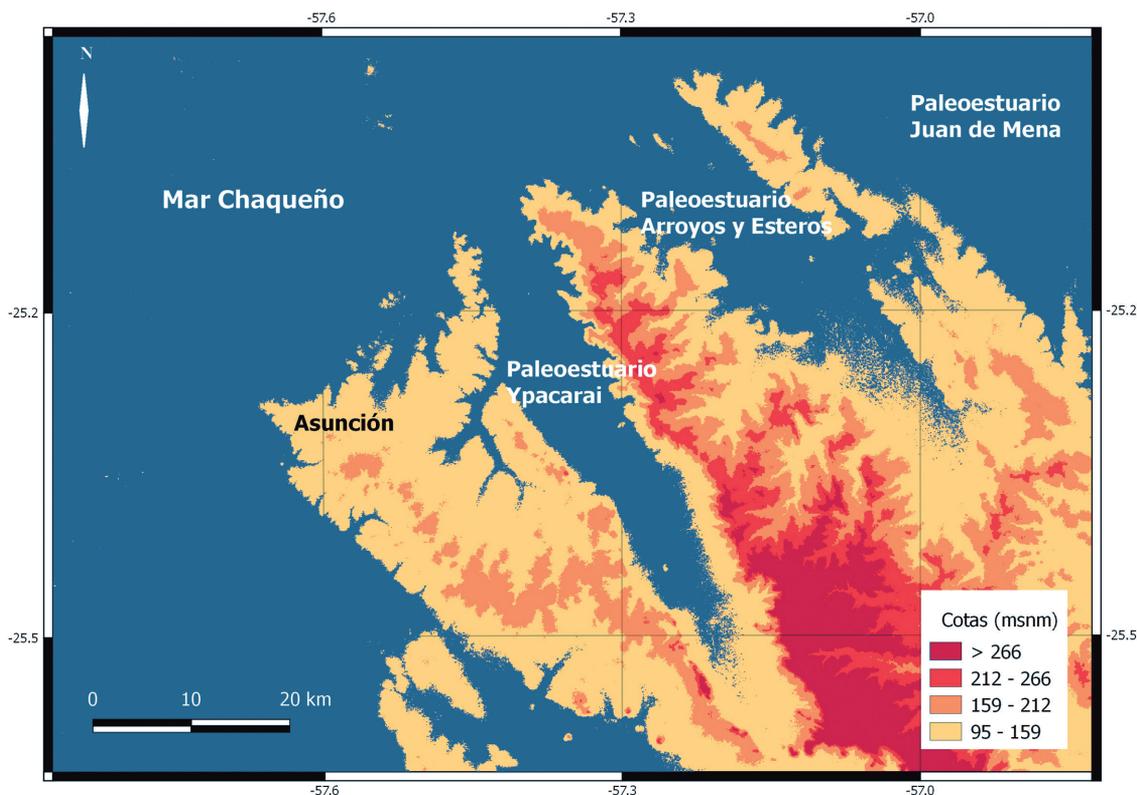


Figura 5. Modelo paleogeográfico de Asunción y alrededores durante el Mioceno medio - tardío (13.82 a 7.24 millones de años).

eustáticos (Löffler, 2004).

El Lago Okeechobe, en el estado de Florida, (Estados Unidos), es el lago de agua dulce más grande de toda América; en un tiempo formó parte de un antiguo mar superficial (Deming, 1979).

Estos son los lagos formados por movimientos diferenciales de la corteza terrestre, relacionados con su elevación o subsidencia. La gran mayoría de los lagos originados por movimientos epirogenéticos y por elevación de bloques del fondo oceánico, resulta en el aislamiento de grandes masas de agua, generalmente de pequeña profundidad (Esteves, 1998).

Esto se verifica en el sureste de Europa y al sur de Asia, que incluyen los mares Aral, Caspio, y Negro. En África oriental, subsidencia de escasa magnitud acomodó el Lago Victoria. Como ejemplos de *rift valley* se mencionan a

los lagos Tahoe (California), Baikal (Rusia), Tanganika y Nyassa (África del Este), y el Mar Muerto (Sly, 1978).

Con estas referencias citadas, que son más bien representativas y no exhaustivas, se pretende resaltar el argumento de limnogénesis por retroceso marino y captura de una masa hídrica importante por represamiento, que originan lagos relictos, o lagos como remanentes marinos.

En este trabajo se propone que durante el Mioceno medio – tardío, durante la fase transgresiva regional del Mar Chaqueño, el valle de Ypacaraí se encontraba inundado en forma de estuario, como un brazo de mar hacia el interior del continente de ese entonces (Figura 5).

Esto se argumenta así, por la presencia de la Formación Chaco en gran parte del valle de Ypacaraí, así como de las evaporitas (Eckel, 1959) y las aguas saladas reportadas en varios

puntos en el mencionado valle, especialmente en la zona del Río Salado.

SENASA – TNO (2001) propuso una hipótesis en la cual la depresión topográfica del Río Paraguay ha sido sujeta a transgresión marina durante cierto período después del Cretácico. Esto se sustenta por la presencia de aguas del tipo NaCl en partes de la fosa del Lago Ypacaraí, (al igual que en el presente trabajo).

La morfología triangular del lago señala su origen por barreras o represamiento (y no subrectangular, lo cual señalaría un origen tectónico), que coincide con la hipótesis principal del presente trabajo.

Son estos lagos asociados en su origen a líneas o lagunas costeras, porque se encuentran vinculados a las variaciones de los niveles del mar, donde una ensenada, estuario o brazo marítimo puede ser aisladas de los mares formando lagos (Esteves, 1998).

El descenso del nivel del mar, que también se relacionaría con movimientos epigenéticos regionales, produjo la regresión del Mar Chaqueño y consecuente extinción progresiva del paleoestuario en el valle de Ypacaraí (Figuras 6, 7, 8).

Técnicos de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) realizaron investigaciones acerca del Lago Ypacaraí en apoyo al SENASA en 1999. Del mismo se extrae un modelo juvenil del lago representado en la Figura 10. En dicho esquema paleogeográfico se observa una mayor extensión del espejo de agua en el valle de Ypacaraí, arrimándose a la ciudad de Paraguairí, y también una masa de agua importante inundando la cuenca del Arroyo Yukyry.

En el trabajo citado no se menciona una transgresión marina a modo de estuario; sin embargo, el despliegue antiguo del lago según

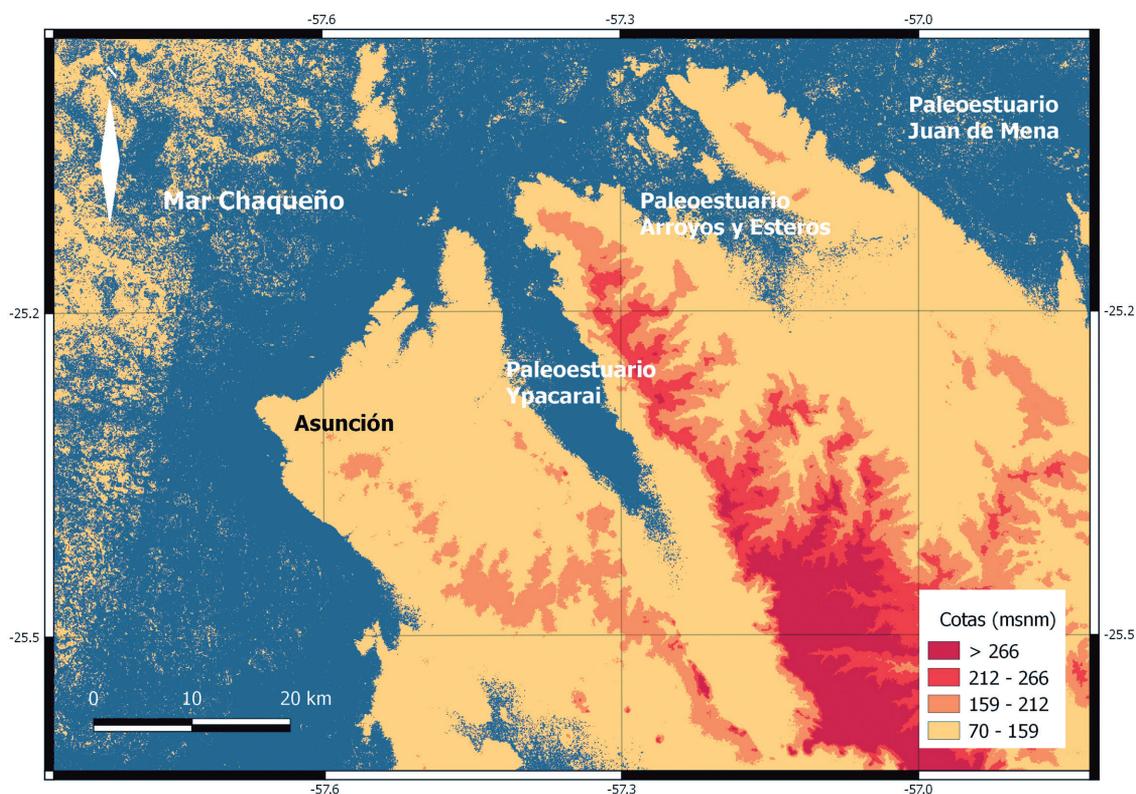


Figura 6. Regresión marina (Mar Chaqueño) durante el Mioceno tardío.

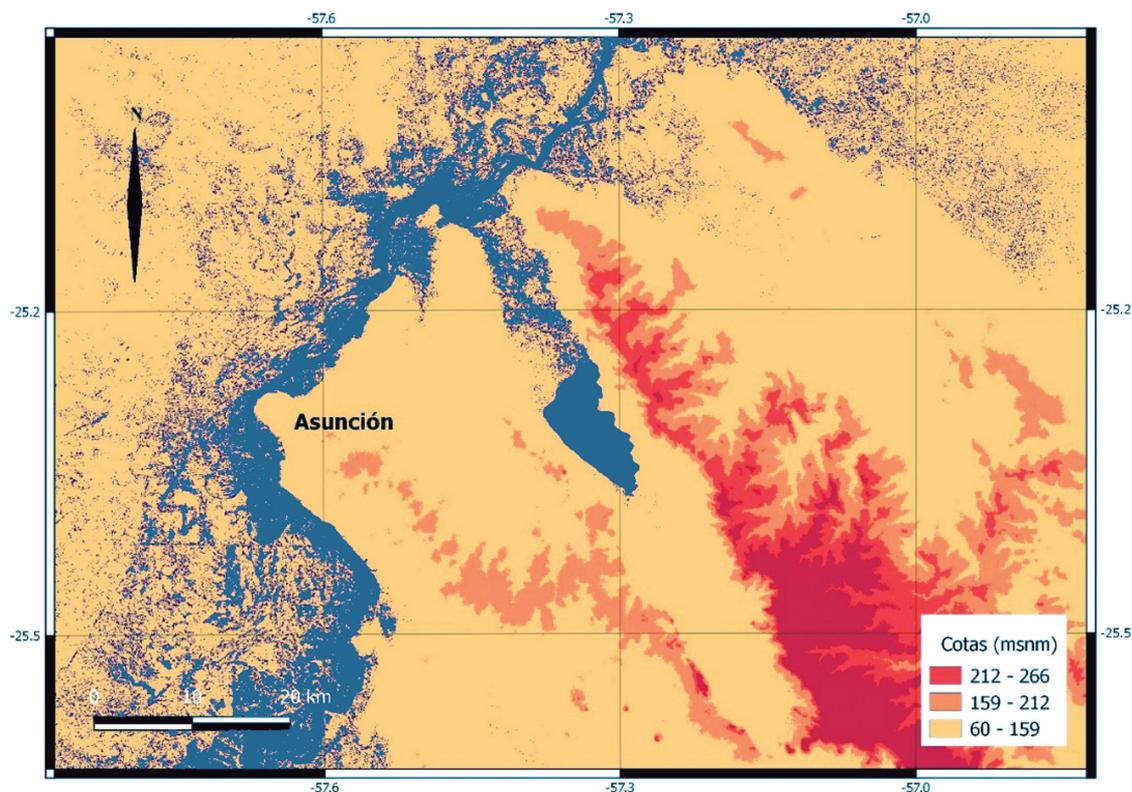


Figura 7. Regresión marina y retención de un cuerpo de agua en los mínimos topográficos del valle de Ypacaraí durante el Mioceno tardío – Plioceno temprano (7.24 a 3.60 millones de años).

aquel modelo se asemeja bastante al propuesto en este trabajo, como se observa en la Figura 5.

De la misma manera, es notable en el valle una pendiente en declive desde Paraguarí hacia el Río Paraguay, donde se observa que el lago ocupa los mínimos topográficos del valle. Los argumentos anteriores se comprueban por medio de un perfil de elevación en la Figura 11.

La zona más profunda del lago (Ritterbusch, 1988) se encuentra muy próxima al dique Norte. Es de considerar, que las columnas hidrostáticas en los cuerpos de agua represados aumentan en profundidad en los asomos a sus barreras de retención.

El aprisionamiento de agua coincidiría con la regresión del Mar Chaqueño, por lo cual se propone una edad preliminar para el lago entre 7.24 – 3.60 millones de años (Figuras 6, 7, 8), un lapso geológico que se designa como de edad

Mioceno tardío – Plioceno temprano (International Chronostratigraphic Chart, 2017).

Aquí también se argumenta que el lago, en sus orígenes, habría tenido un mayor despliegue superficial y de profundidades que el cuerpo de agua actual. Las zonas de los esterales en ambos extremos del lago representarían el retroceso o disminución de su extensión, por el incesante aporte sedimentario y consecuente proliferación de vegetación acuática en sus bordes.

Lo anterior se explica por la sedimentación lacustre desde su confinamiento y continentalización y por los cambios climáticos (sean naturales o por agentes antrópicos). A nivel global existen numerosos ejemplos de reducción de dimensiones de los lagos, incluso de extinciones completas (Löffler, 2004).

Salinidad del Lago Ypacaraí

Las aguas marinas contienen alrededor de 35.000 ppm de sales disueltas (Conzonno, 2009) pero el Lago Ypacaraí presenta un bajo tenor de salinidad, conteniendo sólo 124 ppm (Ritterbusch, 1988). ¿Cómo se explica esto, si se asume un origen marino para este lago?

El Lago Ypacaraí, es del tipo aguas dulces (<1000 ppm, según clasificación de tipo de agua de Gorrell) e hipohialina (<500 ppm, según la clasificación de tipo de agua de Ringuelet), que no conciben con el tipo de agua marina (Conzonno, 2009).

Sin embargo, en varios pozos de aguas subterráneas cercanos al litoral del Río Paraguay en Asunción, M.R.Alonso y Limpio, se han medido contenidos de total de sólidos disueltos que se asemejan a los que corresponden a ambientes

marinos, como ser en Surubi í: 32.160 ppm y Mbiguá: 17.160 ppm (Gadea, 2017) Incluso en el Chaco paraguayo, en diferentes puntos, se han obtenido valores de total de sólidos disueltos para aguas subterráneas que superan por lejos al contenido de sales en los mares abiertos (Paredes, 2017; comunicación verbal).

Con lo expresado anteriormente, se insinúa que aquellos lugares donde se han comprobado altos valores de concentración de sal en las aguas, pertenecen a un mismo sistema marino, dentro del cual también se lo incluye al Lago Ypacaraí, en el marco hidroquímico del Mar Chaqueño.

Como antecedente, Rengger (1835) realizó un reconocimiento acerca del carácter salobre de las aguas del Río Salado y del Lago Ypacaraí. Con respecto al origen de su salinidad, este autor afirmó que no fueron depositadas por aguas

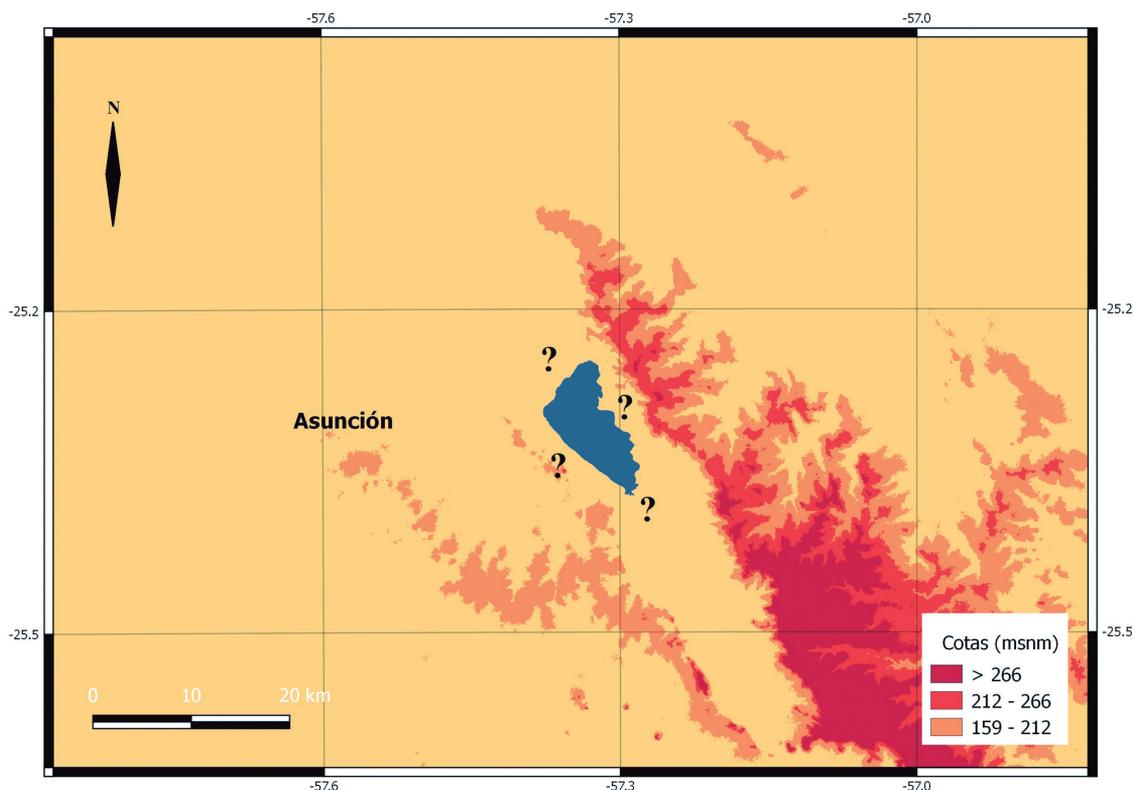


Figura 8. Plioceno temprano, ya formado el Lago Ypacaraí. En sus inicios probablemente tuvo dimensiones mayores que en el presente. Los humedales en su cabecera norte y en zonas aledañas a Ypacaraí actuales podrían haber integrado originalmente sectores del lago.

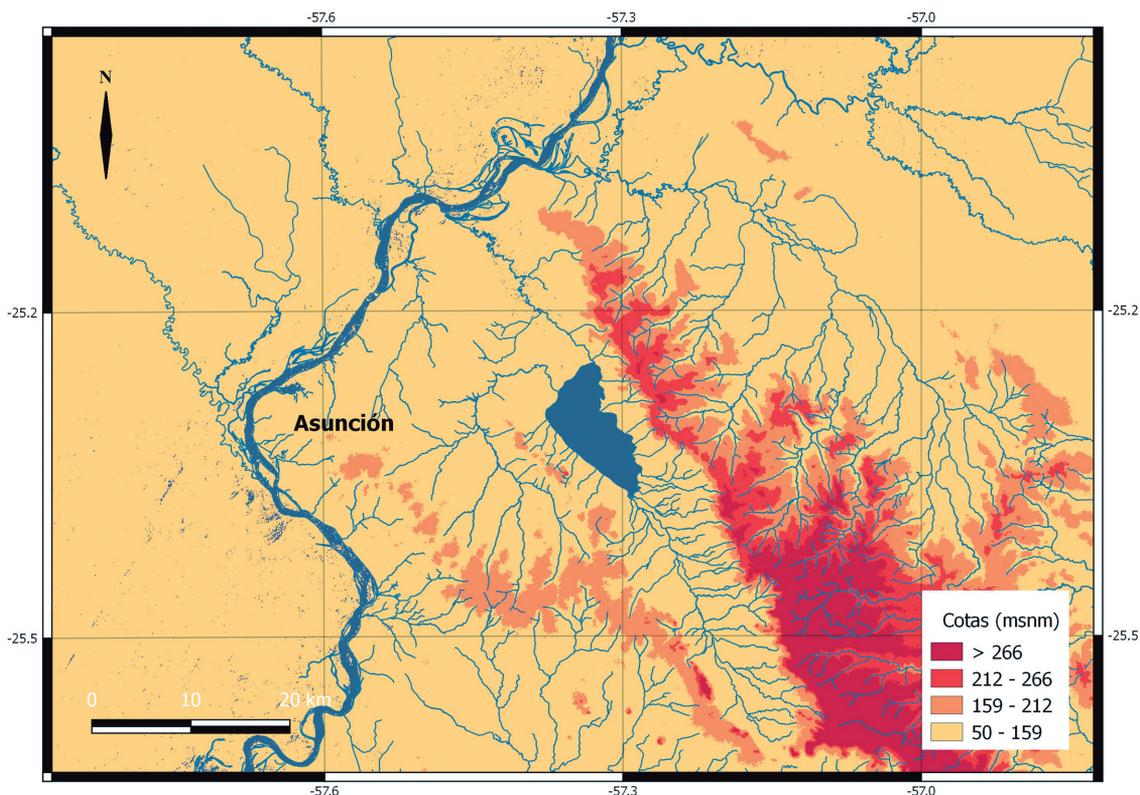


Figura 9. Presente. El Río Paraguay es de aparición reciente, posterior al Pleistoceno tardío. Durante el retroceso, un volumen de agua permaneció retenido en la zona de cotas más deprimidas del valle (ICB, 1985), formando así el Lago Ypacaraí. Esto también fue favorecido por la presencia de ambientes de mayor cota en sus cabeceras más septentrionales y australes que sirvieron como contrafuertes naturales, evitando la retirada del agua en dirección al Río Paraguay y limitando su extensión hacia el sur.

contemporáneas, desconociendo la existencia de alguna fuente nativa de sales a nivel regional.

Según Gibbs (1970), los mecanismos que controlan la química de las aguas superficiales del mundo son: la precipitación atmosférica, la composición de la roca y el proceso evaporación-cristalización. En las aguas dulces predomina el catión calcio, mientras que en las saladas el catión sodio (Conzonno, 2009).

En donde predomina la precipitación atmosférica, predominan las aguas de baja salinidad. El aumento o disminución de la concentración de sales en las aguas superficiales se relaciona con la precipitación atmosférica y los aportes de escorrentías (Conzonno, 2009).

Los sistemas de aguas superficiales son muy sensibles a las variaciones de su entorno ambien-

tal, y pueden modificar sus concentraciones de sales disueltas en respuesta a aquello que ocurra en cuanto al clima, geología y procesos físico-químicos más próximos.

Ritterbusch (1988) realizó un balance hídrico del lago y ha determinado que sus aportes de agua provienen principalmente de la escorrentía superficial, con un volumen anual promedio de 349.4 hm³, y secundariamente de los aportes de aguas meteóricas en un volumen anual promedio de 84.2 hm³, que concuerda plenamente con los resultados de las investigaciones del Proyecto Estudio Limnológico del Lago Ypacaraí del ICB (1985). El 80% de los aportes hídricos al lago son por escorrentías superficiales.

La conductividad eléctrica de las aguas del lago arroja un valor de 207 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a partir de

lo cual se conoce su carácter de agua dulce. Sin embargo, en relación a la proporción Ca/Na, se observa que el contenido de sodio en casi todos los muestreos supera el doble del contenido en calcio (Ritterbusch, 1988), lo cual es muy sugerente, porque el catión predominante que caracteriza a las aguas saladas es el sodio (Conzonno, 2009). En el mismo trabajo, Ritterbusch (1988) también destaca la cantidad de Na^+ y Cl^- notablemente elevados en varios puntos de muestreo en el lago.

El Mar Báltico y el Mar Negro han alternado de agua dulce a salina durante el Pleistoceno tardío y Holoceno (Löffler, 2004). Aquí se observa un tiempo geológico bastante estrecho en relación a las variaciones cíclicas de sus tipos

de agua.

En las antiguas condiciones meromíticas de los lagos, los casos más simples son aquellos donde los lagos salinos reciben influjos de agua dulce (Löffler, 2004). La primera fase meromítica (no existe circulación o interrelación vertical interior entre las aguas menos profundas con las del fondo de un lago) usualmente ocurre durante el nacimiento de un lago, cuando una bahía con agua marina o salada se modifica a una cuenca de agua dulce aislada (Hakala, 2004).

Se denomina meromixis al proceso por el cual un sistema de agua dulce recibe aportes de agua salada, o uno de agua salada recibe contribuciones de agua dulce, modificando así su concentración de sólidos disueltos. Mero-

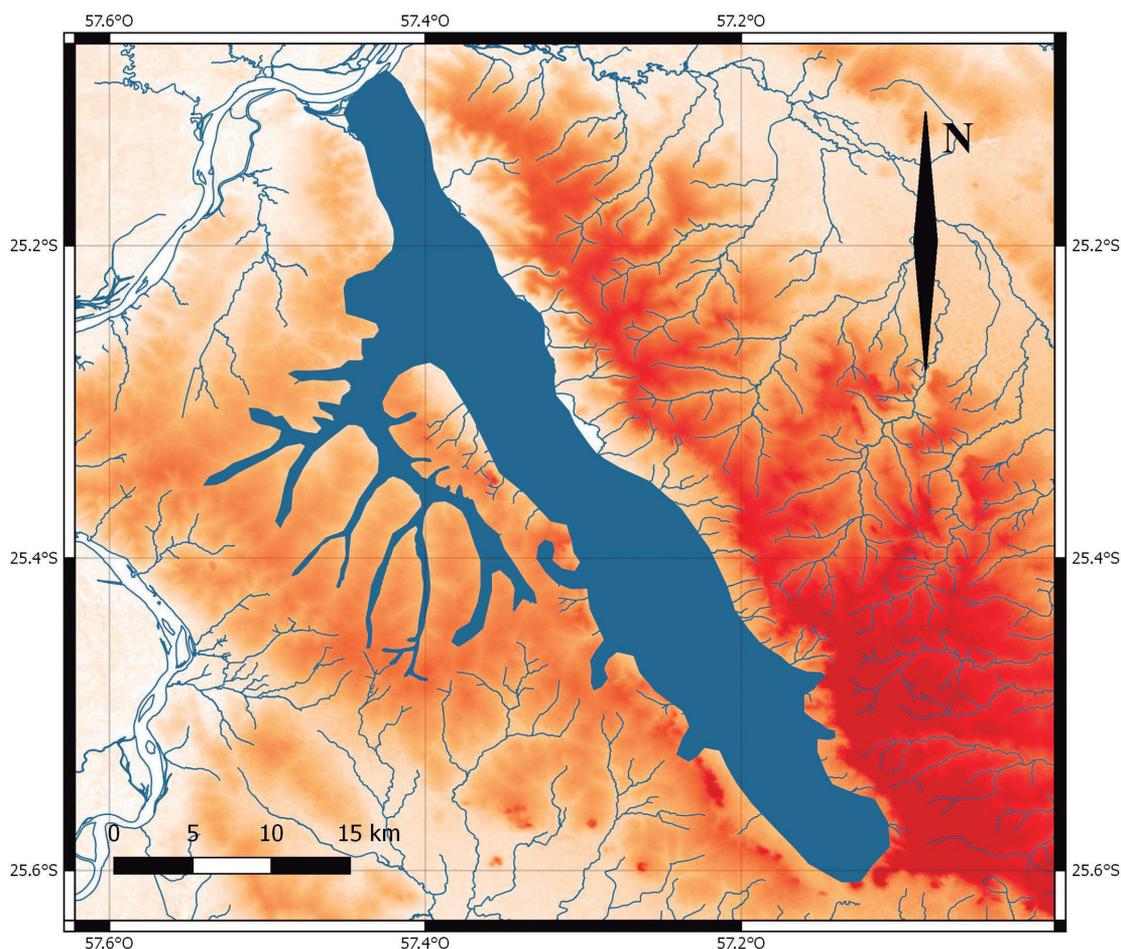


Figura 10. Modelo de estadio juvenil del Lago Ypacaraí (Modificado de JICA, 1999).

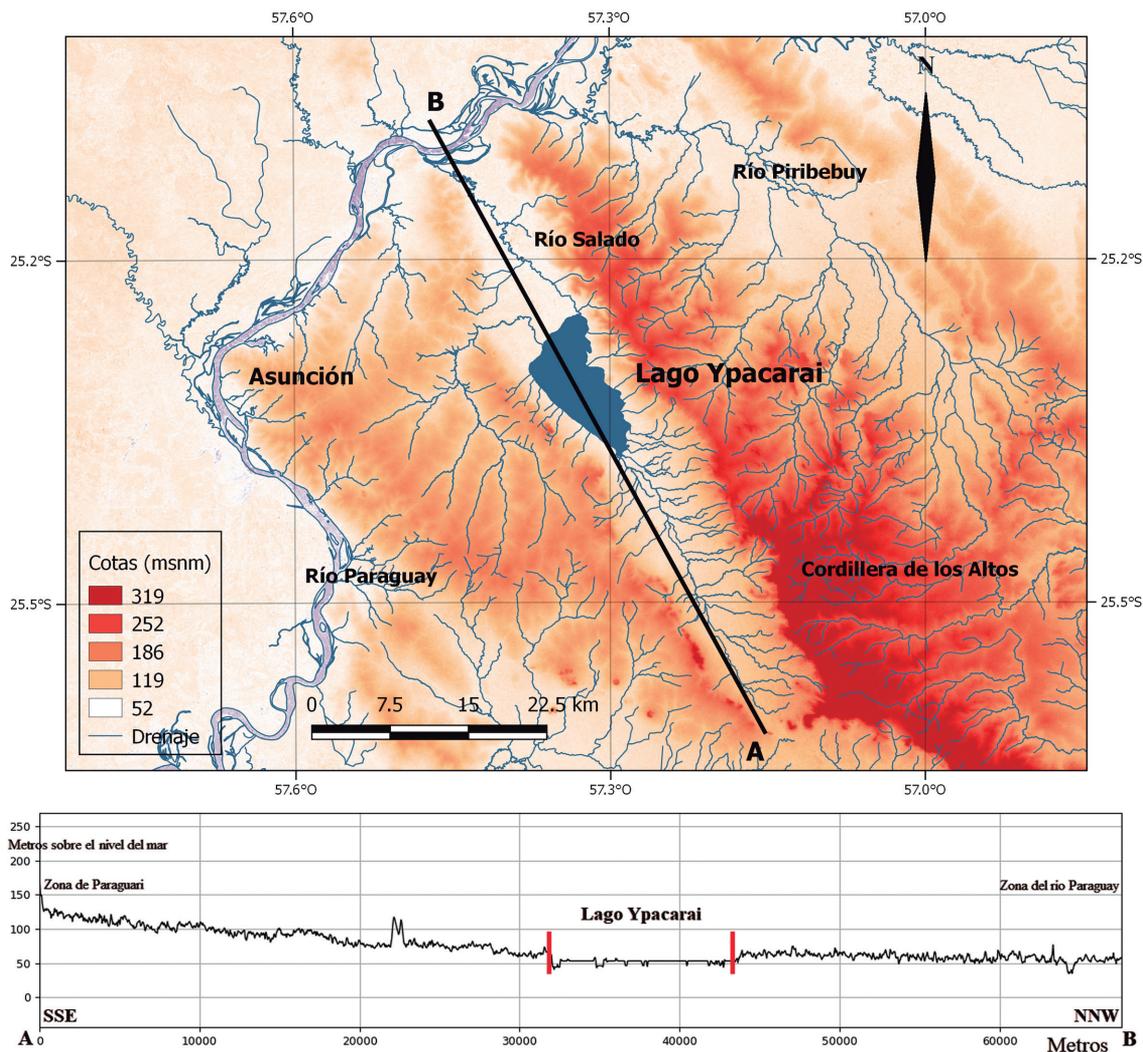


Figura 11. Sección transversal A-B: desde la zona de Paraguari (A) hasta la zona del Río Paraguay (B). El lugar donde se sitúa el lago ocupa la cota 53 metros (promedio) sobre el nivel del mar en el valle. El lago se conecta con el Río Paraguay por medio de su desagüero natural: el Río Salado, y éste alcanza al Río Paraguay en cotas del orden 40 – 50 metros sobre el nivel del mar, que se encuentra en un nivel topográfico menor al del lago.

mixis ectogénica cuando el influjo de aguas es externo (aún antrópico, y de actual vigencia), y crenogénica cuando recibe aguas mineralizadas de fuentes subterráneas (Löffler, 2004).

Este lago, una vez aislado del estuario en retroceso del Mar Chaqueño, fue modificando de ambiente geomorfológico, en el cual, ya netamente continental, la sedimentación fluvial tomó preponderancia en relación a la marina.

ICB (1985) estimó el espesor del suelo del lago, conformado por limos orgánicos, como de

3 metros. Del mismo se razona que una infiltración de aguas subterráneas saladas hacia el lago (meromixis crenogénica) explique el elevado contenido de sodio y cloro, no sería factible, porque los fangos en el lecho del lago actuarían como sellos confinantes o semi-confinantes por su baja permeabilidad.

En este contexto, se propone que el Lago Ypacarai originalmente tuvo un carácter hidroquímico salado, y posteriormente con los aportes de aguas de escorrentías de las sub-cuencas

fluviales desarrolladas en el valle y de las precipitaciones, fue disminuyendo su salinidad por el proceso mencionado: meromixis ectogénica. Las aguas del Lago Ypacaraí podrían básicamente entenderse como aguas marinas lavadas, y que el registro de concentración de sodio y cloro son iones fósiles del antiguo Mar Chaqueño.

Esto último se ajusta a lo expresado por Aceñolaza (2004), cuando argumentó acerca de las lagunas costeras con salinidad (en asociación con depósitos evaporíticos) propia del mar, como relictos luego de la regresión del Mar Chaqueño, y que con el devenir del tiempo geológico en algunos casos se tornaron dulces.

Aunque hasta el presente no se han localizado fósiles marinos en el valle que puedan ser utilizados para determinar un paleoambiente del tipo estuarino, las manifestaciones evaporíticas, agua del lago con alto contenido en sodio y cloro, así como los acuíferos salinos en varios puntos en el valle, hacen suponer que el lago podría haber tenido su origen como relicto o remanente marino.

Otras hipótesis acerca de la limnogénesis del Lago Ypacaraí

1. Acumulación hídrica de escorrentías superficiales y precipitaciones: Esta hipótesis sostiene que el Lago Ypacaraí es consecuencia de acumulación de aguas de los afluentes y de lluvias a lo largo de millones de años, que también fueron aprisionados en la depresión topográfica principal del valle. Así mismo, se adecua a las características de represamiento de acuerdo a su morfología. Tampoco es descartable esta hipótesis.

Félix de Azara (1850) explicó el origen del Lago Ypacaraí de la siguiente manera: *El famoso lago de los Xarayes (actualmente conocido como el Pantanal) está formado por el concurso de todas las aguas producidas por las lluvias abundantes durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero de las provincias de Chiquitos y en todas las montañas cuyas aguas contribuyen a formar el gran río del Paraguay*

por el lado de su nacimiento.

En efecto, este río, no pudiendo contener todas estas aguas en su lecho, las extiende a un lado y a otro, porque el país es horizontal, el lago sigue la misma regla en su extensión (...) Algunos antiguos creyeron que el lago era la fuente del río del Paraguay, y es precisamente lo contrario.

Otros lagos del Paraguay son de la misma naturaleza que el Xarayes, tales como el Aguarracaty, la laguna Ipoa, el de Mandihá y el de Ipacarary.

Observaciones: considerando el volumen del recipiente contenedor del lago y su masa hídrica, así como los pequeños tributarios de las sub-cuencas que desaguan en el lago, resulta difícil suponer que estos pequeños afluentes y los aportes de aguas meteóricas hayan contribuido lo suficiente para rellenar la cubeta contenedora del lago con semejantes dimensiones. Para demostrar esto se necesita evidencia de la cual aún no se dispone.

2. Inundación excepcional del río Paraguay (Alfred Demersay, 1860; en: González, 1964):

Este autor argumentó que, en tiempos prehistóricos, a causa de una creciente extraordinaria, el Río Paraguay pudo haber vertido sus aguas en el valle. *Pero, para que se haya formado una tal acumulación, permanente de agua, netamente circunscripta, de un nivel casi invariable y que presenta todas las condiciones de un verdadero lago, es necesario que existan causas cósmicas, cuya acción pujante se haya producido simultáneamente con otros fenómenos geológicos.*

Observaciones: no se han reconocido evidencias para sostener dicha hipótesis.

3. Tectónica: Como consecuencia de la ruptura cortical que representa el inicio del proceso de la formación del rift de Asunción durante el Jurásico tardío – Cretácico temprano.

Observaciones: el valle de Ypacaraí aún no se había establecido en ese entonces. Las rocas paleozoicas seguían ocupando el valle en el principio de la ruptura, y posteriormente fueron

fracturadas y desalojadas por erosión selectiva (Degraff, 1981). Resulta improbable que el lago se haya originado antes del desalojo litológico en el valle. Agregando a lo anterior, la morfología del lago es triangular (por embalsamiento) y no sub-rectangular (tectónico).

4. Presencia de un gran río embalsado: se menciona la existencia de un antiguo río a lo largo del valle de Ypacaraí, de envergadura comparable al Río Paraguay o al Río Paraná. Ese río fue represado en las cotas mínimas del valle, y con el tiempo fue disminuyendo su caudal, permaneciendo así el importante volumen de agua que contiene el lago. Los actuales afluentes son remanentes de aquel gran río. La morfología triangular del lago se adecua a esta hipótesis.

Azara (1890) imaginó al Río Paraguay circulando en el actual canal del Río Salado y por todo el valle de Ypacaraí hasta alcanzar el Río Caañabé hacia el sur, y de ese modo al sistema del Lago Ypoá, con sus humedales. A esta hipótesis no se la descarta. No obstante requiere demostración.

Observaciones: no se han reportado o mencionado paleocauces o alguna otra evidencia hidrológica que señale la presencia del gran río.

5. Combinación de hipótesis 1 y 4.

CONCLUSIONES

La Formación Chaco y sus concomitantes manifestaciones de evaporitas en sus diversas formas, así como las aguas subterráneas de carácter salado, pueden ser útiles para delinear la paleogeografía del Mar Chaqueño.

Se han reconocido facies salobres y depósitos de ambientes evaporíticos a nivel regional, especialmente en el Chaco paraguayo y en el litoral del Río Paraguay. A estas facies se las asocia con la transgresión marina del Mar Chaqueño. Sin embargo, el aspecto paleontológico aún no ha sido resuelto, porque no se han encontrado registros confirmados que señalen una presencia marina durante el Cenozoico medio – tardío en el valle de Ypacaraí.

Si bien se dispone en una fosa tectónica, ésta se formó *post-rift valley*, a partir de lo cual se propone que su limnogénesis no sería entonces del estilo tectónico. La morfología de los lagos tectónicos son subrectangulares.

Ocurrió una transgresión marina del Mar Chaqueño inundando el valle de Ypacaraí durante el Mioceno medio – tardío en forma de estuario hasta las inmediaciones de la ciudad de Pirayú y –posiblemente – hasta Paraguari.

Por movimientos epirogenéticos y consecuente regresión marina del Mar Chaqueño, en el retroceso del estuario, un volumen de agua salada fue retenido para conformar el Lago Ypacaraí. Esta regresión marina, se estima que ocurrió durante el Mioceno tardío - Plioceno temprano, en el lapso de 7.24 a 3.60 millones de años.

Durante el retroceso del paleoestuario el cuerpo de agua fue capturado en los mínimos topográficos del valle Ypacaraí.

Se propone una hipótesis de origen marino de carácter estuarino para el Lago Ypacaraí. Su morfología triangular condice con el del tipo barreras, diques naturales y lagunas costeras.

Las aguas del lago, las cuales eran originalmente saladas, se tornaron dulces por meromixis ectogénica. Esto debido a los aportes de las escorrentías de un ambiente fluvial desarrollado luego del retroceso marino y las lluvias.

El lago en principio abarcaba mayor superficie, así como sus medidas de profundidad. La disminución de los valores de estos parámetros lacustrinos es natural, y acelerado por acción antrópica. Desertificación, sedimentación y cambios climáticos reducen las dimensiones de los lagos.

Se necesita elaborar un modelo de despliegue regional del Mar Chaqueño durante su existencia en Paraguay, para intentar explicar muchos procesos y eventos geológicos e hidrogeológicos que de alguna manera inciden sobre la población del país. Así mismo, este conocimiento es importante con fines académicos y de difusión.

Con el propósito de explicar el origen del

lago, hasta el presente sólo existen algunas hipótesis. No se ha encontrado aún una investigación con evidencia contundente que demuestre la génesis del Lago Ypacaraí.

Estudios en el futuro, con más técnicas y mejores herramientas, exploraciones, muestreos, observaciones, aplicación de nuevos recursos y mayor refinación en las técnicas, actuarán de jueces para determinar la veracidad o falsedad de esta hipótesis.

Se requiere de una prospección paleontológica y/o palinológica en Asunción y alrededores, especialmente en los materiales infrayacentes a la Formación Chaco en exposición y en los calcáreos villetanos. Así también los fósiles mencionados por Bertoni (1939) deberían ser recolectados y estudiados.

Si se produjera este hallazgo, se determinará la edad del registro y se comprobará si corresponde en cronología y en paleoambiente a los sedimentos marinos del Mioceno medio – tardío, que ya se estudiaron ampliamente en Argentina, y de ese modo se intentará establecer una correlación bioestratigráfica. Si esto llegase a ocurrir, se tendría mayor evidencia acerca de la hipótesis planteada en este trabajo y se elevaría a categoría de teoría.

AGRADECIMIENTOS

A los Doctores Jorge Rabassa, Félix Carvalho y Félix Villar, por su revisión y sugerencias para el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F. 2004. Paleobiogeografía de la Región Mesopotámica. Pág. 1-6. Revista INSUGEO. Tucumán, Argentina.
- Azara, F. 1850. Viajes por la América Meridional. Desde 1789 hasta 1801. Imprenta del Comercio del Plata. Montevideo, Uruguay.
- Azara, F. 1890. Geografía Física y Esférica de las Provincias del Paraguay y Misiones Guaraníes. Montevideo, Museo Nacional, 1904. Montevideo, Uruguay.
- Bertoni, AW. 1939. Informe sobre rocas conchillanas en Villeta. Revista de la Sociedad Científica del Paraguay. Tomo IV. Nº4. Asunción, Paraguay.
- Bravard, A. 1858. Monografía de los Terrenos Marinos Terciarios en las Cercanías del Paraná. Imprenta del Registro Oficial, Paraná. 107pp. (Reimpresión Imprenta del Congreso de la Nación, 1995). Buenos Aires, Argentina.
- Cardozo, S. y C. Crosa. 2006. Estudio de la Contaminación del Acuífero Patiño. Trabajo final de grado. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FIUNA). Asunción, Paraguay.
- Consorcio CKC – JNS, 2007. Informe Técnico 2.6. Pág. 79. “Estudios de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción” (Acuífero Patiño). Cooperación Técnica ATN/JC 8228 – PR – SENASA – BID.
- Conzonno, V. 2009. Limnología Química. 1ª Ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 220 pp.
- Degraff, J., D. Orue, R. Franco. 1981. Interpretación Geofísica y Geológica del Valle de Ypacaraí (Paraguay) y su formación. Págs. 240 – 256. Asociación Geológica Argentina, Revista. XXXVI (3). Buenos Aires, Argentina.
- Del Río, C. 2001. Malacofauna de la Formación Paraná y Puerto Madryn (Mioceno marino, Argentina): su origen, composición y significado bioestratigráfico. En: Aceñolaza F.G. y Herbst R. (Eds). El Neógeno de Argentina. INSUGEO. Serie Correlación Geológica 14: 77-101. Tucumán, Argentina.
- Deming, H.G. 1979. El Agua: Un Recurso Insustituible. Pág. 17-23, 253 – 266, 337-338, 374. Ediciones Nuevomar S.A. de C.V., México, DF, México.
- Esteves, F. 1998. Fundamentos de Limnología. 2ª Ed. Interciência. 326 pp. Río de Janeiro, Brasil.

- Eckel, E. 1959. Geology and Mineral Resources of Paraguay: Reconnaissance Geol, Surv. Prof. Pag. 91-92. Paper 327, Washington DC, Estados Unidos.
- Gadea, M. 2017. Determinación de los Niveles de Salinidad del Acuífero Patiño. Pág. 46. Tesis de Maestría en Hidrogeología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción, 184 pp. San Lorenzo, Paraguay.
- Geoconsultores. 1998. Potencial de Hidrocarburos del Paraguay (áreas de interés prioritario para exploración). Tomo I. Servicio de Consultoría en Apoyo al Sector de Hidrocarburos del Paraguay. Asunción, Paraguay.
- González, N. 1964. Geografía del Paraguay. Editorial Guaranía. Vol. I, Ciudad de México. México.
- Hakala, A. 2004. Meromixis as a part of lake evolution – observations and a revised classification of true meromictic lakes in Finland. *Boreal Environment Research* Vol. 9. University of Helsinki. Helsinki. FI. 37-53 pp.
- Hidroservic. 2018. Informe Técnico de Pozo Perforado en San Bernardino. Paraguay.
- International Commission on Stratigraphy. 2017. International Chronostratigraphic Chart. Última Actualización: Febrero 2017. Disponible en: <http://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2017-02.jpg>
- Iriondo, M. 2009. Introducción a la Geología. Editorial Brujas. 170 pp. Córdoba, Argentina.
- JICA. 1999. El Lago Ypacaraí. Informe Técnico Final para SENASA. San Lorenzo, Paraguay.
- Larroza, F. y S. Fariña. 2005. Caracterización Hidrogeológica del Sistema Acuífero Yrendá (SAY) en Paraguay: Recurso Compartido con Argentina y Bolivia. IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Río Cuarto, Córdoba, Argentina, 25 al 28 de Octubre de 2005. Tomo IV. 125-134 pp.
- Löffler, H. 2004. The Origins of Lake Basins. En: O'Sullivan P. y Reynolds C. *The Lakes Handbook* Vol. 1. Blackwell Publishing. Oxford. UK. 8-60 pp.
- Miraglia, L. 1963. Vulcanismo Postpliocénico del Paraguay. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*. Tomo 7, Nº2. 1-52 pp.
- Proyecto Estudio Limnológico del Lago Ypacaraí. 1985. Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Asunción. 198 pp.
- Orfeo, O. 2005. Historia Geológica del Iberá, Provincia de Corrientes, como Escenario de Biodiversidad. Págs. 71-78. INSUGEO, Miscelánea 14. Tucumán, Argentina.
- Palmieri, J.H. 1968. Investigación de la Salinidad del Arroyo Yukyry. Págs. 1-8. Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de Asunción. Publicaciones, Serie C: Investigación Nº12. Trabajo de Tesis.
- Ragotzkie, R. 1978. Heat Budgets of Lakes. En: *Lakes; Geology, Chemistry and Physics*. Chapter 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DE. 1-18 pp.
- Rengger, J. 1835. Viaje al Paraguay en los años 1816 a 1826. Traducido al castellano, prologado y anotado por Alfredo Tomasini y José Braustein. Editorial H.R. Sauerlaender. Aarau, Suiza.
- Ritterbusch, B. 1988. Estudio Limnológico del Lago Ypacaraí. Págs. 11-26. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 19. Instituto de Ciencias Básicas.
- Roldán, J. y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. Págs XXX Editorial Universidad de Antioquía. 2ª Edición. Antioquía, Colombia.
- Rondón, C., A. Zapata, J. Rondón. 2010. Estudio Morfométrico del Lago Guatavita (Colombia). Pág. 133. *Acta Biol. Colombia*. Volumen 15, Número 3. Bogotá, Colombia.
- Sheffer, M. 2004. Ecology of Shallow Lakes. Pág.

- XIV. Population and Community Biology Series 22. Springer-Science+Business Media, B.V. University of Otago, New Zealand.
- Sly, P. 1978. Sedimentary Processes in Lakes. En: Lakes; Geology, Chemistry and Physics. Chapter 3. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania, 65-89 pp.
- Sprechmann, P; Aceñolaza, F.; Gaucher, C.; Nogueira, A. C. & Pérez, M. I. 1999. Transgresión Paranense: Paleoestuario o Brazo del Tethys, del Mioceno medio y/o Superior en Sudamérica. Actas del 9º Congreso Latinoamericano de Geología.
- Velázquez, V. 1992. Provincia Alcalina Central, Paraguai Centro-Oriental: Aspectos Tectónicos, Petrográficos e Geocronológicos. Págs. 87-92. Tesis de Maestría. Universidad de São Paulo. São Paulo, Brasil.
- Zurita, A. y M. Alcaraz, 2000. Recientes Hallazgos de Mamíferos Fósiles en la Formación Toropí (Pleistoceno) de la Provincia de Corrientes, Argentina. Resumen. XV Jornadas Argentinas de Mastozoología. La Plata. Argentina.
- Zucol, A., M. Brea, A. Lutz, L. Anzotegui. 2004. Aportes al Conocimiento de la Paleodiversidad del Cenozoico Superior del Litoral Argentino. INSUGEO, Miscelánea 12: 91-102.