

**Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay**

**Effects of the large masses of floating vegetation on the composition of the Ypoá lagoon complex, Paraguay**

Danilo Arturo Salas-Dueñas<sup>1</sup>, Ana María Castillo<sup>2</sup>, Laura Rodríguez<sup>1</sup>, Juana De Egea-Elsam<sup>3, 4</sup>, Fátima Mereles<sup>3, 4</sup>

<sup>1</sup> Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de la Naturaleza. Asunción, Paraguay.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Asunción, Paraguay.

<sup>3</sup> Centro para el Desarrollo de la Investigación Científica (CEDIC). Asunción, Paraguay.

<sup>4</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (PRONII-CONACYT). Asunción, Paraguay.

Autor de correspondencia: fmereleshaydar@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.32480/rscp.2019-24-1.137-162>

Recibido: 22/01/2019. Aceptado: 23/03/2019.

**Resumen:** El complejo conocido como lago Ypoá, con tres espejos de aguas sobresalientes Ypoá, Cabral y Verá se encuentran enmarcados dentro de uno de los cratones de la región Oriental, el del río Tebicuary y muy influenciado por la dinámica de los ríos Paraguay y Paraná. Durante el trabajo realizado, los análisis batimétricos han demostrado la escasa profundidad de cada uno de estos cuerpos de agua. Los estudios de la dinámica de los embalsados que cubren una gran parte de los tres espejos sugieren que estos se encuentran en plena evolución, consolidándose cada vez más y en algunos casos ya uniéndose a tierra firme. Ante estos hechos, la hipótesis planteada de redefinir los límites del lago Ypoá y limitarlo a un solo cuerpo de agua en vez de tres, separados por las masas de embalsados, cobra mucha fuerza tal y como lo indica la cartografía del siglo XIX de la región. Por ser un área protegida, urge redefinir los límites del mismo, uniendo los tres espejos de agua en uno solo e incorporando dentro de estos a las masas de embalsados, sitios en donde se concentra mayoritariamente la biodiversidad asociada al agua.

**Palabras clave:** complejo de lagunas Ypoá, embalsados, batimetría, evolución.

**Abstract:** The Lake Ypoa system, comprised of the three major water bodies Ypoa, Cabral and Vera, is located within one of the cratons of the Oriental region, the Tebicuary River, and is highly influenced by the dynamics of the rivers Paraguay and Paraná. During the work carried out, the bathymetric studies have shown the shallow depth of each of these water bodies. Studies of the dynamics of the floating islands of vegetation that cover a large portion of the three water bodies suggest that they are in ongoing evolution, consolidating themselves more and more, and in some cases even adjoining themselves to the mainland. Given these facts, the proposed hypothesis of redefining the limits of the Lake Ypoa system as a single body of water divided by the floating islands



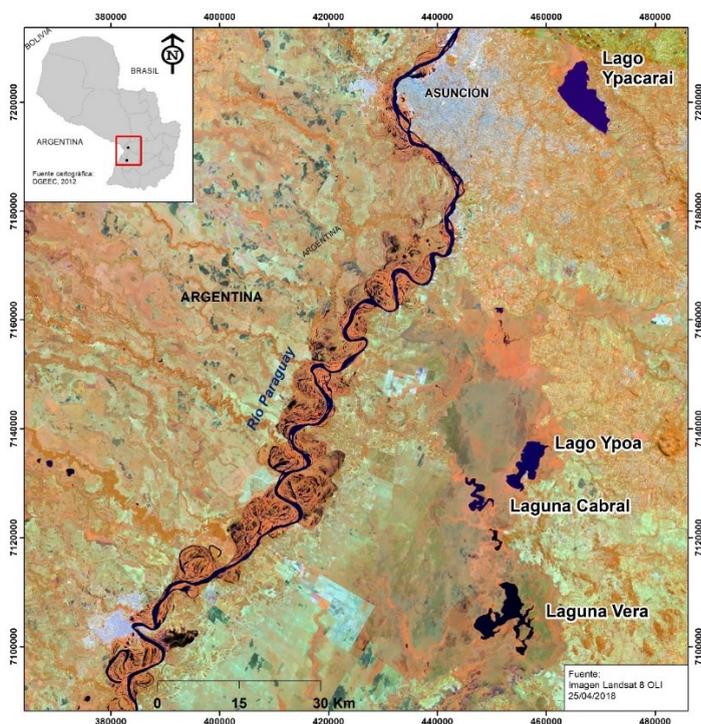
of vegetation becomes more plausible, as opposed to the three separated bodies; this concept was also illustrated in the 19th century cartography of the region. Bearing in mind this is a protected area, it is imperative to redefine the boundaries of this water system including the three water bodies in a single lagoon system and incorporating the floating islands of vegetation as the sites where most of the biodiversity associated with wetlands is concentrated.

**Keywords:** lagoon complex Ypoá, floating vegetation, bathymetry, evolution.

## **INTRODUCCIÓN**

La superficie del Paraguay abarca unos 406.752 km<sup>2</sup> e incluye dos grandes ríos pertenecientes a la cuenca del Río de la Plata: el Paraguay y el Paraná. Esta cuenca es la segunda en extensión en América del Sur, siendo el río Paraná el segundo en tamaño en el continente, con unos 4.000 km de longitud y una sub-cuenca de 2.8 millones de km (1). El río Paraguay es el principal afluente de dicha cuenca con 2.250 km de longitud y ambos y junto con el río Uruguay, se desarrollan en una región predominantemente llana (1), entre otras características. El primero de ellos cruza y al mismo tiempo bordea al territorio paraguayo, al igual que el Paraná y al atravesar el país, va dejando sus huellas a través de sus tributarios que se encuentran en ambas regiones naturales, la Occidental y la Oriental.

Según Burgos (2), los ecosistemas de aguas permanentes en el país ocupan una superficie aproximada entre el 30 y 40% del territorio, en tanto que otros mencionan hasta un 30% como máximo (3-5). La naturaleza morfológica de la región Oriental, con pendientes suaves y extensas planicies accidentadas por elevaciones y depresiones poco pronunciadas, han dado lugar a espacios ocupados por el agua, generando ambientes lénticos, por lo que dicha región es muy rica en humedales permanentes, encontrándose dentro de este conjunto a dos grandes cuerpos de agua, catalogados técnicamente como lagunas por su escasa profundidad (6), pero conocidos localmente como lagos: el Ypacaraí y el Ypoá, Figura 1, éste último conformado por tres espejos de agua: el lago mencionado y las lagunas Cabral y Verá o Ypoá Guazu (7), que sobresalen en medio de la vegetación acuática, es conocido en conjunto con el nombre de complejo Ypoá (8).



**Figura 1:** Ubicación de los lagos Ypacarai e Ypoá con sus cuencas respectivas.

### Antecedentes

Existen pocos datos sobre el complejo Ypoá respecto al sistema hídrico en sí y tampoco se han encontrado referencias que indiquen la realización de algún tipo de relevamiento de las profundidades del mismo. Se conocen algunas menciones históricas vinculadas al sistema (9) y son conocidas algunas recopilaciones cartográficas como las de Estos cartógrafos han percibido en el siglo XIX solamente un solo cuerpo de agua conocido como Ypoá.

La unidad morfológica del lago Ypoá es una planicie de inundación resultante de una erosión selectiva. En la parte más baja de la misma, la altura es de 55 m.s.n.m. (laguna Verá y el valle del río Tebicuary), llegando a unos 65 m.s.n.m. en los alrededores de la Colina Montiel. Al Este y Noreste, la planicie de inundación aumenta su altura hacia la cabecera del arroyo Yaguary entre 80-100 m.s.n.m. y otros arroyos como el Curucau hasta 100 m.s.n.m. y el Mbusyí entre unos 100-110 m.s.n.m. Dentro de esta unidad morfológica se destacan algunos cerros con pendientes escarpadas de la Compañía Ypucú [26°06' S; 57°17' W] y los cerros Lima y González, cerca de la estancia Ypoá (7).

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

Geológicamente, el área es una depresión que se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Paraguay hacia el extremo Sur de la región Oriental, Figura 2 y está constituida por afloramientos de rocas del periodo Precámbrico correspondiente al Cráton denominado del río Tebicuary o Precámbrico Sur del Paraguay. Gracias a los estudios de Harrington (10), Putzer (11), Vera Morínigo & Facetti (12), Wiens (13), Bittschene y Lippold (14), Castillo (15), González & al. (16), se pudo determinar mejor la secuencia estratigráfica regional y correlacionar con los eventos geocronológicos del Brasil, para concluir que el Craton del Tebicuary corresponde a su vez al Cráton de Paranapanema en Brasil, Fig. 3. Estos a su vez están constituidos por rocas metamórficas e ígneas con unos 5500 km de superficie, localizado entre los 26° 00' - 26° 30" S y 57° 00' - 57° 30' W, que incluye el Complejo río Tebicuary, Grupo Paso Pindó y la Suite Magmática Caapucú, que constituye la fase post tectónica del Ciclo Brasiliano, conocida hoy como la Suite Intrusiva Extrusiva de Caapucú Granja (17). Wiens (13), utiliza el mismo nombre, pero con la categoría de Grupo.

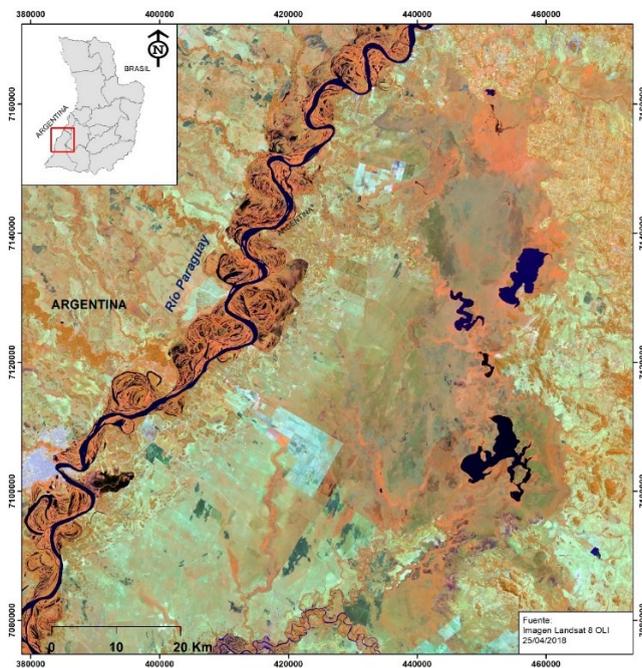
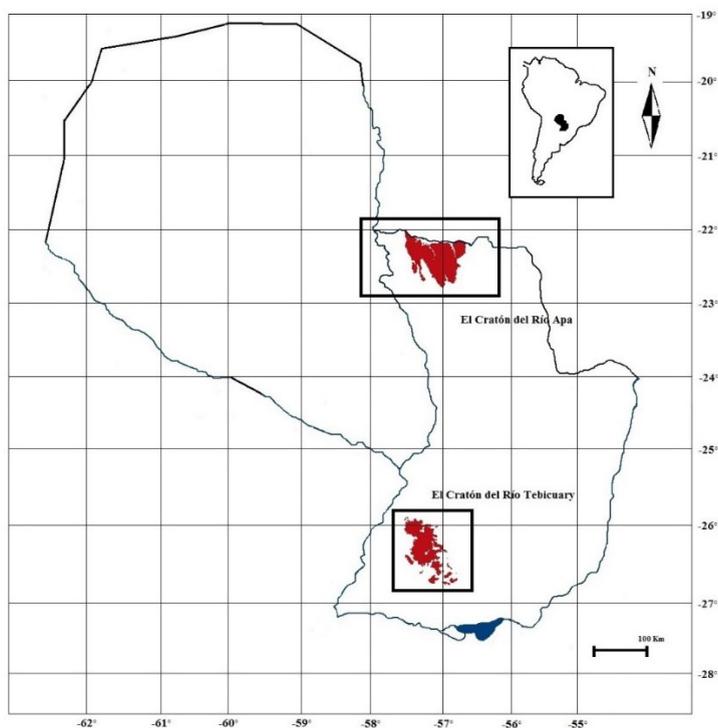


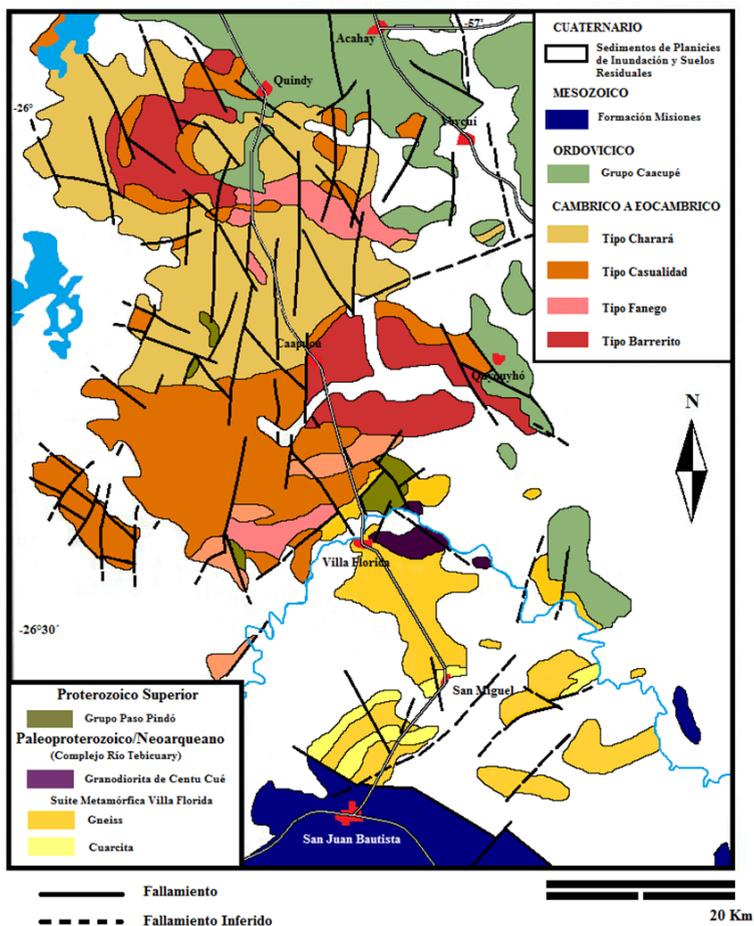
Figura 2: Ubicación de la depresión Ypoá en el Paraguay Oriental



**Figura 3:** Ubicación del Craton del Río Tebicuary en Paraguay

Esta Suite Magmática revela varios niveles de emplazamientos, desde rocas intrusivas, plutónicas, hipoabisales y efusivas, constituidas principalmente por granitos gruesos a porfíricos y pórfido de granito/riolita, Figura.4. Estas determinaciones geocronológicas en rocas del basamento cristalino de la porción Sur del Paraguay son aún escasas. Las primeras dataciones pueden ser encontradas en Comte y Hasui (18), que realizaron determinaciones por el método K-Ar, obteniendo edades de  $539\pm 40$  Ma (en concentrados de anfíbol) y  $424\pm 25$  Ma (en concentrados de plagioclasa), para una roca anfibolítica situada próxima a la localidad de Villa Florida [ $26^{\circ}24'$  S;  $57^{\circ}07'$  W].

Estos autores efectuaron también determinaciones radiométricas (K-Ar) en la granodiorita de la localidad de Centu-Cué [ $26^{\circ}24'$  S;  $57^{\circ}02'$  W] y en el granito de Caapucú [ $26^{\circ}14'$  S;  $57^{\circ}10'$  W]. Para ambas litologías fueron utilizados concentrados de feldespato potásico, apuntando valores de  $535\pm 30$  y  $468\pm 25$  Ma respectivamente. Posteriormente Bitschene y Lippolt (14), obtuvieron edades de  $544\pm 11$  Ma para el granito de la cantera de Caapucú.



**Figura 4:** Niveles de emplazamiento de la Suite Magmática Caapucú

Posteriormente Engler (19), realizó dos determinaciones por el método U-Pb en zircón para una roca anfibolítica perteneciente a la misma suite anterior, situada al sur de la localidad de Itayurú, obteniendo valores de  $2240 \pm 20$  y  $2040 \pm 30$  Ma, cuyas edades corresponden al evento transamazónico.

Las dataciones radiométricas en la granodiorita de Centu-Cué [ $26^{\circ}24' S$ ;  $57^{\circ}02' W$ ], por medio de determinaciones K-Ar, revelan valores de  $555 \pm 9$  y  $560 \pm 12$  Ma, reflejando edades de enfriamiento, concordantemente con las edades de Rb-Sr (580 Ma, en roca total). Por otro lado, determinaciones

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

de U-Pb en zircón de la misma roca, apunta una edad próxima a 1617 Ma.

Cubas & al. (20) valiéndose de la metodología Rb-Sr, realizaron análisis de edades en las rocas ácidas de la Suite Magmática Caapucú, obteniendo un valor promedio de  $531 \pm 5$  Ma. Datos más recientes realizados en U-Pb, obtenidos de cristales de circón, sugieren edades de cristalización del magma de la Suite mencionada en  $543 \pm 7.3$  Ma y  $553.1 \pm 5.4$  Ma Granja (17), certificando que el evento tectónico corresponde al Ciclo Brasiliano como habían sugerido estudios anteriores y que esos episodios de producción de magmas pueden estar vinculados a eventos pre, tardío y pos tectónicos, evidenciando diferente evolución geodinámica de orógenos brasilianos (17).

Según la Hoja Villa Florida de contactos con otras rocas y/o sedimentos, las extremidades Norte y Este del Precámbrico Sur están cubiertas discordantemente por sedimentos silicoclásticos del Grupo Caacupé (Ordovícico), verificándose en la porción Sur un contacto tectónico con los sedimentos Mesozoicos de la Formación Misiones, en tanto que la parte Oeste se encuentra cubierta por sedimentos cuaternarios aluvionales del tipo *sambaquí* provenientes de la planicie de inundación del río Paraguay y conformados por materiales orgánicos como restos de conchillas, además de cerámicas y pétreos, productos de asentamientos prehistóricos. Según Sanjurjo y Vera Morínigo (21) y Giraut & al. (22), lo mencionado corresponde al área de influencia del delta primitivo de los ríos Paraguay y Paraná y correlacionan a los humedales del departamento de Ñeembucú (Paraguay) y de las provincias de Corrientes y Chaco (Argentina), Figura 5 y 6.

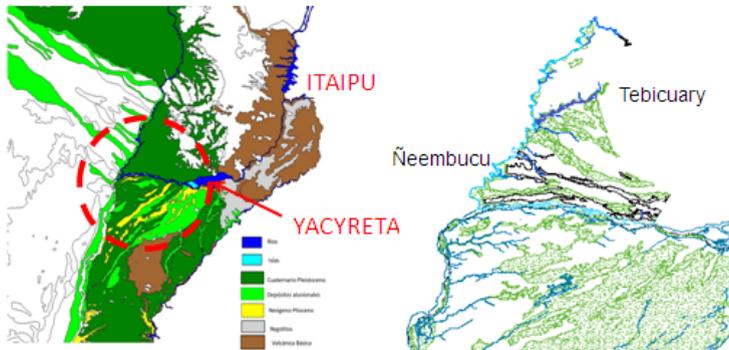
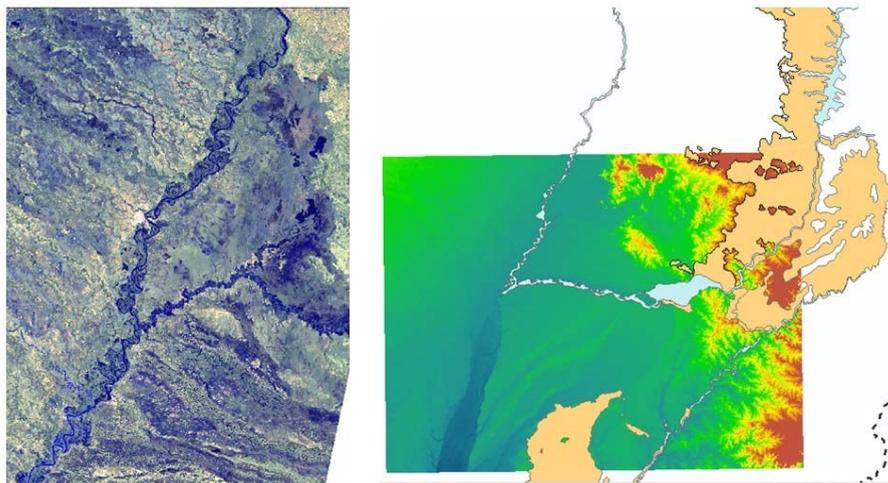


Figura 5: Área de influencia de los ríos Paraná y Paraguay Giraut, et al. (22)



**Figura 6:** Correlación entre los humedales de Ñeembucú, Paraguay y Chaco y Corrientes, Argentina (22)

En cuanto a la hidrografía del complejo acuoso, el lago Ypoá es el principal colector de las aguas superficiales que drenan la región. Uno de los principales es el arroyo Caañabé que desemboca en el estero Ypoá y que a su vez colecta aguas de arroyos secundarios de menor caudal; se mencionan entre estos al Tacuary, Naranjay, Guazu-Cua, entre otros. El río Tebicuary y el espejo de agua de la laguna Verá constituyen los elementos hidrográficos más importantes en la región, los que se encuentran rodeados de extensas planicies de inundación o esterales (probablemente embalsados), que abarca más de 700 km<sup>2</sup> al Oeste y Noroeste (20).

Los suelos de la región son en gran parte alfisoles, entisoles y ultisoles areno-arcillosos de color grisáceo-amarillento y son producto de la alteración de las rocas graníticas y gnésicas. Sobre estas rocas, la meteorización profunda dio lugar a los suelos lateríticos que se formaron durante el Cuaternario; esto ocurrió en gran parte del área precámbrica (23). Las formaciones más jóvenes del área son los sedimentos arcillosos de la planicie de inundación del río Tebicuary, el estero del Ypoá y sus tributarios (20).

El complejo fue designado como Reserva para Parque Nacional SEAM (24), con aproximadamente 100000 hectáreas y seis años después fue delimitado por Ley SEAM (25). Recientemente dicha figura fue cambiada a Reserva de Recursos Manejados con 119006 hectáreas (26). Comprende únicamente los tres espejos de agua sin sus costas y vecindad, conclusión que se desprende de su extensión y territorios que abarca en los departamentos Paraguairí, Central y Ñeembucú [26° 30' S – 57° 33' W]. Fue además designado como uno de los primeros sitios RAMSAR en junio de 1995, cumpliendo los criterios de la Convención del mismo nombre y sitio declarado como Área Importante para la

Conservación de las Aves o IBA, bajo los criterios A1 y A2 por la organización internacional de protección a las aves Birdlife International Yanosky & al. (27).

Una de las características más llamativas del complejo lago Ypoá es la presencia de los embalsados o islas flotantes que se inician a partir de algunas especies Schulz (28), Tur (29), que luego van evolucionando en la medida en que las raíces de las mismas se van constituyendo en un entramado que retiene a la materia orgánica, convirtiéndose en un sustrato para el desarrollo de otras especies más robustas (30) y así sucesivamente, cubriendo, como en el caso del Ypoá, superficies inmensas de kilómetros de longitud y que se destacan sobre gran parte del espejo de agua. La presencia de las grandes masas de embalsados en el lago Ypoá, fue mencionado en varias comunicaciones (8, 31, 32).

Sucesivas veces se mencionó al conjunto de los tres espejos de agua aflorantes: Ypoá, Cabral y Verá o Ypoá Guazú, como parte de un complejo de aguas separados por formaciones más consolidadas como lo son los esteros o áreas inundables y anegables cubiertos por una vegetación palustre Mereles (8). Luego de numerosas visitas al sitio, surgió la hipótesis de que este complejo no fuera tal, sino que se trataría de un solo cuerpo de agua, separado por las grandes masas de embalsados, que posteriormente dio lugar a un proyecto de investigación, cuyos resultados se presentan en éste artículo.

El objetivo fundamental fue contribuir con el conocimiento de las características físicas de este complejo de lagunas poco conocido, redefiniendo los límites del mayor espejo de agua del complejo, el lago Ypoá, y como objetivos específicos se buscó determinar las profundidades de las tres lagunas, ampliar los escasos conocimientos sobre los diversos estadios de evolución de los embalsados, con el fin de determinar la injerencia de estos sobre la separación de las masas de agua y finalmente fortalecer la hipótesis planteada por medio de la comparación de mapas históricos y actuales del lago Ypoá y su entorno.

## **MÉTODO**

### Relevamiento batimétrico

Previos a los trabajos de exploración de las profundidades, se realizaron tres viajes exploratorios para identificar accesos, sitios de ubicación del campamento base para cada espejo de agua y demás complejidades que se pudieran presentar durante el desarrollo de los trabajos de campo. Las profundidades del sistema lagunar fueron medidas mediante el método del relevamiento batimétrico. Para ello se recurrió a las cartas topográficas oficiales de la Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL), imágenes satelitales Google Earth y las bases cartográficas de la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censo (DGEEC).

Los trabajos de campo se iniciaron de acuerdo al siguiente orden: lago Ypoá, laguna Cabral y laguna Verá o Ypoá Guazú, con el apoyo de dos embarcaciones. Para los estudios de las profundidades se contrató los servicios de una empresa especializada ONGagua (7) quienes utilizaron el protocolo de batimetrías (33).

Se procedió a la delimitación de los espejos de agua del sistema lagunar en base a las imágenes satelitales realizadas en formato “shape”, para el diseño de la grilla de puntos o malla con distancias de 200 metros de espacio entre líneas de navegación, de manera a cubrir los espejos de agua de la manera más adecuada.

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

Para el relevamiento de las profundidades se elaboró una malla de puntos de 200 m entre líneas de navegación. Se utilizaron los equipos de precisión como los receptores del Global Positioning System (GPS Gr-3 Topcon), diferencial doble frecuencia y navegación para acercamiento y equipos eco-sonda, para la determinación de la profundidad en cada punto de la malla. Los relevamientos fueron realizados en base al Elipsoide WGS 84, cuyo Dátum es el WGS 84 modo en que opera el Sistema GPS navegador. Los puntos fueron relevados en Sistema de Proyección UTM, faja 21-Sur.

Con la grilla de puntos georreferenciados, se procedió a la carga de dichos puntos con las coordenadas (x, y, z) en un receptor GPS, a fin de determinar la profundidad con la eco-sonda montada en una de las embarcaciones, con una precisión decimétrica (10 centímetros). Para ello, en cada uno de los espejos de agua se relevó la cota (z) del pelo del agua en la playa y con el receptor móvil se realizó la determinación del nivel del agua por medio de un cilindro de plástico transparente y que permitió observar el nivel del agua por vaso comunicante dentro del mismo, en contacto con la punta del jalón, cuya altura fue determinada previamente.

El detalle de la operación mencionada más arriba se repitió diariamente, antes de iniciar todo el proceso batimétrico. Los resultados obtenidos de las mediciones de las profundidades se generaron en planillas digitales en formato Excel. Con los datos obtenidos y agregados a las coordenadas, fue posible generar la cartografía de las profundidades del lago Ypoá, mediante las tonalidades de colores de claro a oscuro, pudiéndose inferir de esta manera las zonas de menor profundidad a las de mayor profundidad.

De esta manera se procedió con los otros cuerpos de agua: lagunas Cabral y Verá o Ypoá Guazu, obteniéndose la cartografía de las otras dos. En total se realizaron 1243 puntos batimétricos: 380 en el lago Ypoá, 245 en la laguna Cabral y 617 en la Verá.

Finalmente se tomaron 68 muestras de sedimentos del fondo, en puntos seleccionados: 31 muestras para el lago Ypoá, 12 para la laguna Cabral y 25 para la Verá.

#### Caracterización de los embalsados

##### Trabajos de gabinete:

Se recabó la información mediante sensores remotos de alta resolución, utilizando imágenes satelitales de Google Earth, para la detección de los tipos de coberturas.

##### Trabajos de campo:

Estos consistieron en la determinación de los tipos de estadios o etapas de evolución de los embalsados a través de la observación y caracterización de las especies acuático-palustres que componen los mismos. Para ello se describieron *in situ* los diferentes tipos de embalsados observados y se tomaron muestras de sus componentes vegetales en estado fértil. Las muestras fueron procesadas y determinadas taxonómicamente; las originales fueron depositadas en el herbario FCQ y los duplicados se distribuyeron a otros herbarios (BM, CTES y G).

Se observó la calidad y consistencia del sustrato, el espesor de los mismos y la dinámica que estos cuerpos de agua presentan sobre el espejo de agua.

Para complementar los estudios, se recurrieron a los mapas históricos Pierron (34), S.D.U.K. (35), Mouchez (36), Estevez (37), Alonso Criado (38) con el objeto de ver la manera en como interpretaron los respectivos cartógrafos la masa de agua en cuestión, (en anexo).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La cota media de los tres espejos de agua no varía mucho, siendo la del lago Ypoá de 59 m.s.n.m., la de la laguna Cabral 60 m.s.n.m. y la de la laguna Verá de 57 m.s.n.m. respectivamente. En la Figura 7, 8 y 9 se presentan los mapas de los tres espejos de agua con los puntos de muestreo y la toma de muestras de las profundidades, además de la forma real de cada uno de los espejos de agua, observándose la completa cobertura de la grilla sobre los tres cuerpos de agua. En la Figura 10 se observa el mapa de contraste de colores, que indica las zonas de menor profundidad (tonos más claros) y de mayor profundidad (tonos más oscuros) del lago Ypoá, cuya forma del espejo de agua aparenta más regular comparada con las otras dos lagunas. Los tonos más claros se encuentran del lado Este sobre el continente, en tanto que las del lado opuesto corresponden a las costas de las islas presentes ubicadas hacia el Oeste: Marcelo, Valdés y el islote Ombú, éste último al extremo Norte. A medida que los puntos se alejan de las costas, los colores se tornan más oscuros, denotando una mayor profundidad, llegándose a percibir puntos casi negruzcos que corresponden a las mayores profundidades. La Figura 11 es una representación 3D del lago Ypoá en donde se puede apreciar muy bien la morfología de la profundidad del mismo, resaltando en oscuro las zonas más profundas.

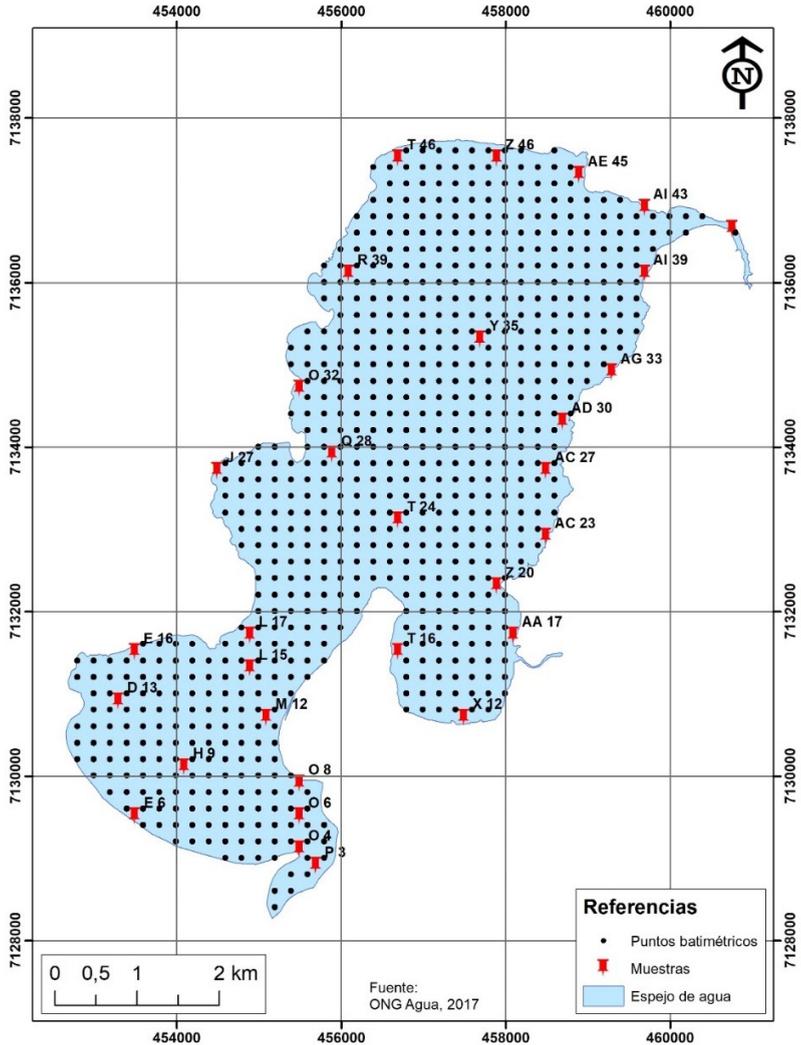


Figura 7: Lago Ypoá. Mapa con grilla y puntos batimétricos de muestreo (7)

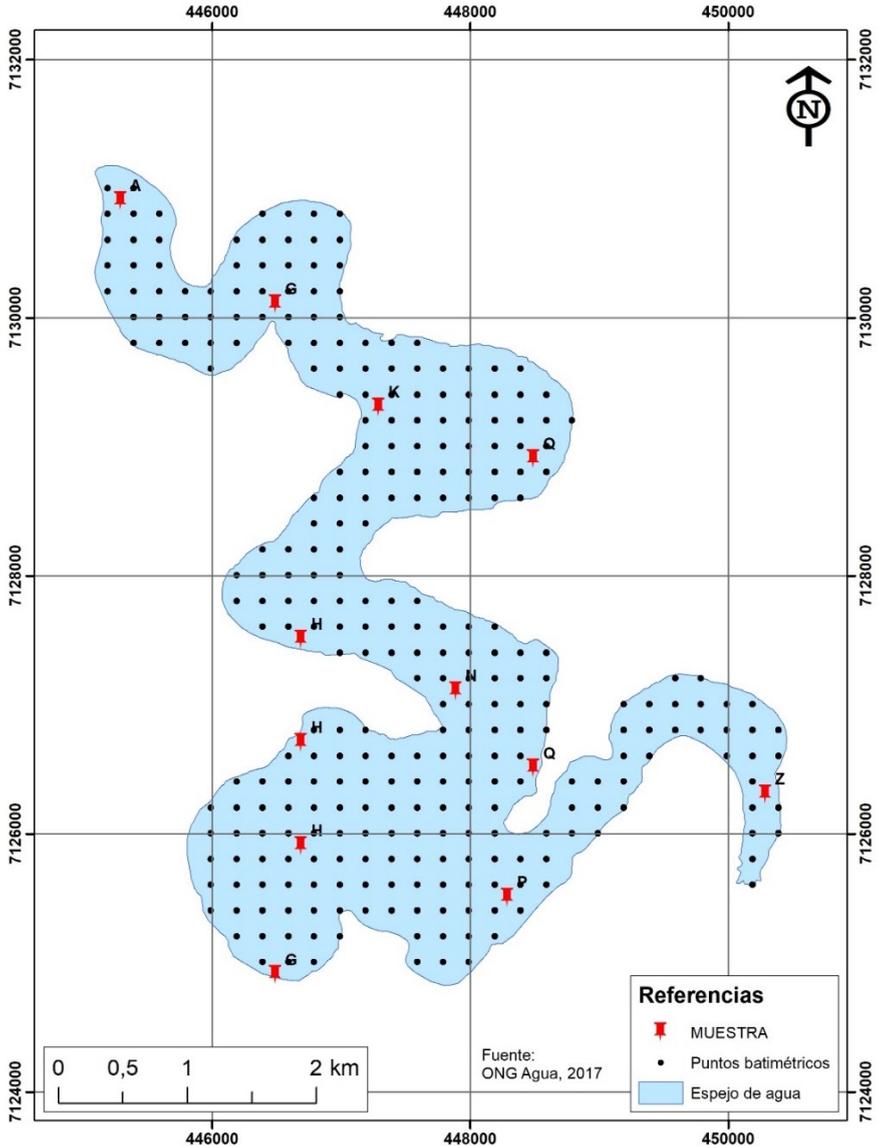


Figura 8: Laguna Cabral. Mapa con grilla y puntos batimétricos de muestreo (7)

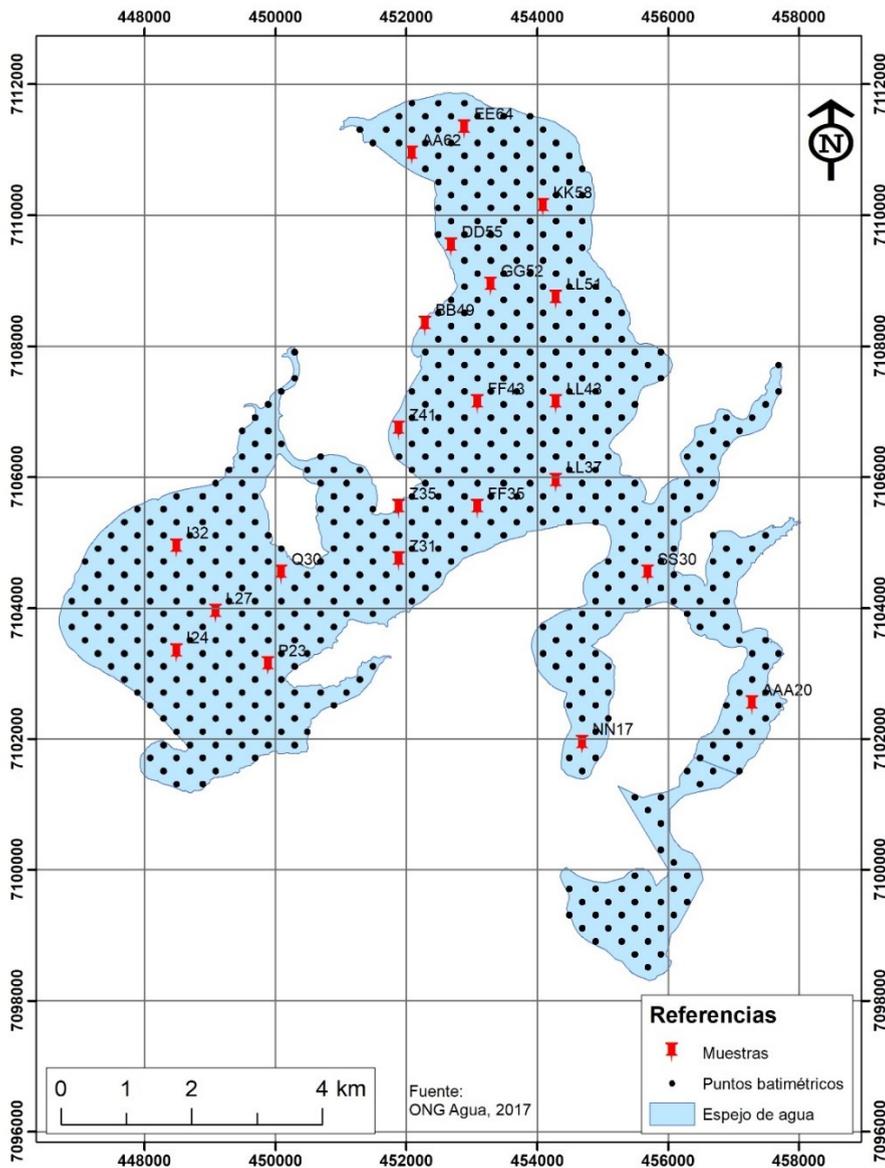
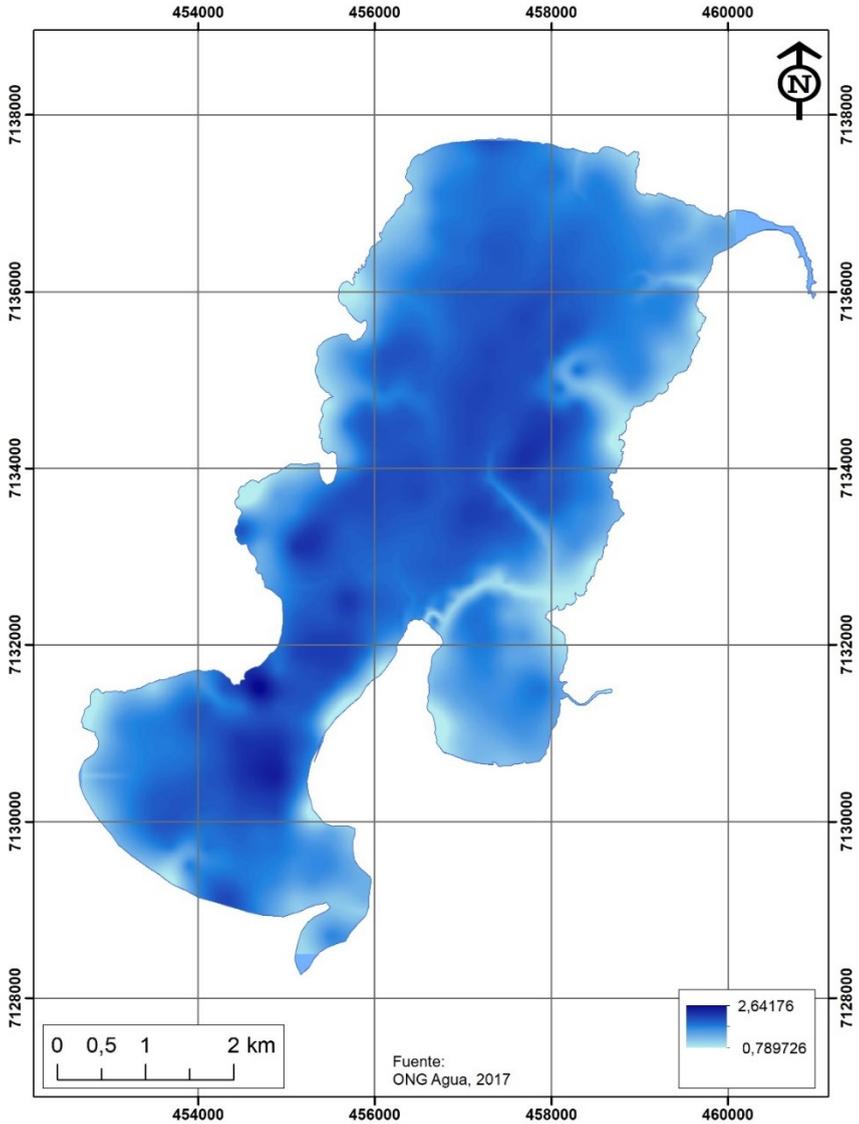
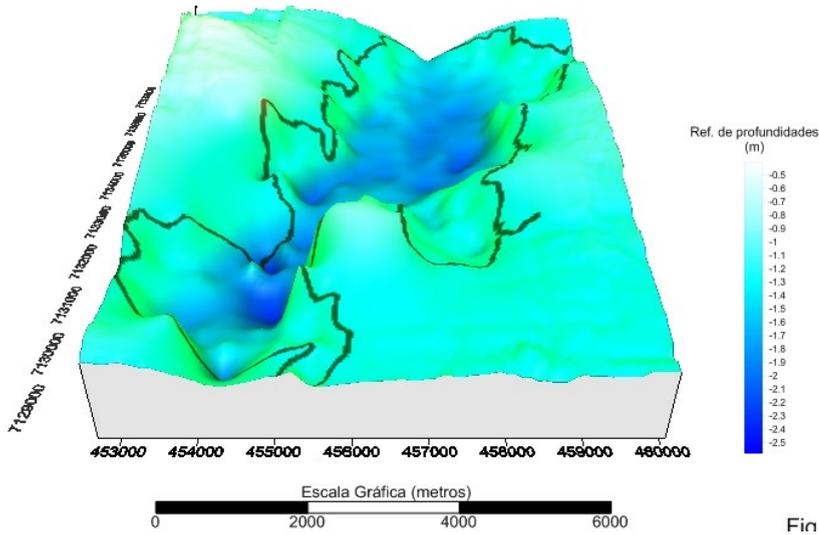


Figura 9: Laguna Verá. Mapa con grilla y puntos batimétricos de muestreo (7)

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay



**Figura 10:** Mapa de profundidad del Lago Ypoá. Las tonalidades más oscuras indican las zonas más profundas (7)

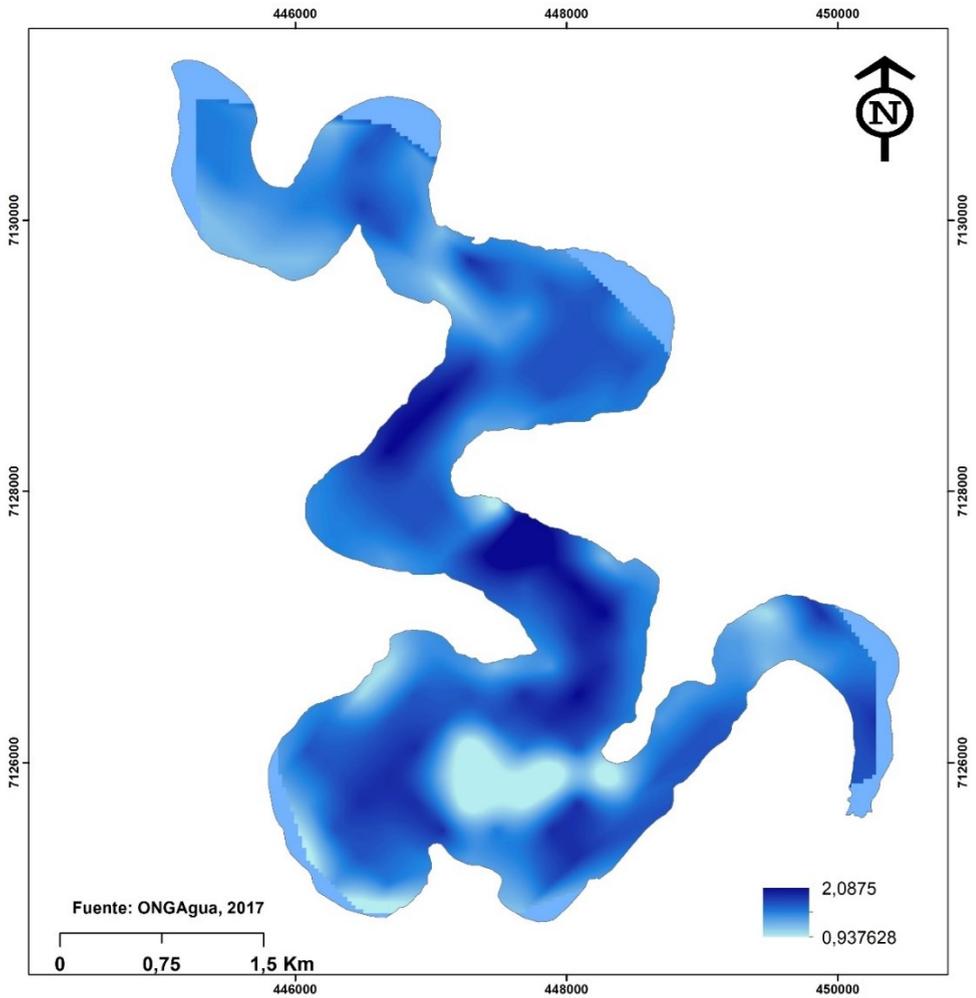


**Figura 11:** Representación 3D del Lago Ypoá, resaltando las profundidades con sus valores (7).

La zona de menor profundidad del lago Ypoá es de 0,50 m en tanto que la más profunda se inicia sobre los 2 m y llega a 2,50 m, con una media de profundidad de 1,50 m.

La laguna Cabral presenta una forma sinuosa y una superficie igual a 11.784 km<sup>2</sup>. En la Figura 12 y 13 se observa el mapa de profundidad de la laguna y como en el caso del lago Ypoá, los colores claros denotan una menor profundidad igual a 0,20 m en tanto que el punto más profundo de la misma, encontrado en el centro-este es de 2,10 m, siendo la profundidad media igual al Ypoá, de 1,50 m. De un modo similar se operó con la laguna Verá, Figura 14 y 15, con una superficie de unos 49.982 km<sup>2</sup>, siendo la profundidad media de 1,46 m y la zona más profunda de unos 2,40 m.

Tanto el lago Ypoá como la laguna Cabral presentan elevaciones que sobresalen por sobre el espejo de agua, siendo todas de naturaleza ígnea, no así en la laguna Verá en donde aparecen islotes que son utilizados como campamentos temporales por pescadores y demás, no siendo habitadas ninguna de ellas. En apariencia constituyen embalsados ya muy consolidados cuyo sustrato o suelo penetra hasta el fondo de la laguna. La laguna Verá presenta una forma muy irregular y sus aguas desembocan en el riacho Negro hacia el Sur, en forma de numerosos meandros cortados por los embalsados, terminando todo esto a su vez en el río Tebicuary. Este espejo de agua es el de menor extensión entre los tres, rodeado completamente por las grandes masas de embalsados muy consolidados, con un acceso muy difícil, motivo por el cual sus condiciones ambientales son prácticamente prístinas. No posee costas sobre el continente y en apariencia no posee alimentadores hídricos, a no ser que sean del tipo sub-superficiales y por supuesto el de las precipitaciones pluviales.



**Figura 12:** Profundidades de la Laguna Cabral (7)

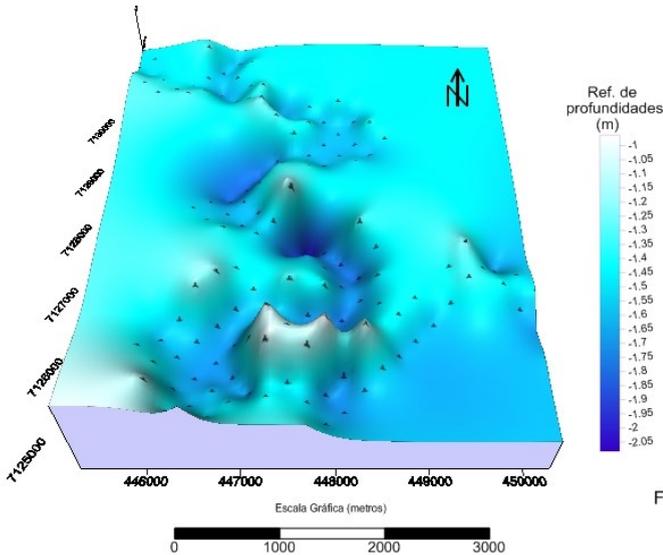


Figura 13: Representación en 3D de la Laguna Cabral (7).

En síntesis, la profundidad media de los tres espejos de agua en conjunto está entre 1,40 y 1,50 m, siendo la profundidad máxima de unos 2,40 m. Los trabajos de batimetría demuestran fehacientemente que se trata de una masa de agua de escasa profundidad, cuyos espejos de agua se encuentra prácticamente sumidos en medio de los grandes embalsados, los que a su vez han alcanzado tal grado de desarrollo que en algunos casos se parece más a una isla que a masas de vegetación flotante sobre un sustrato y que probablemente esta sea la evolución de las mismas con el correr del tiempo.

Los embalsados del complejo Ypoá son conocidos desde hace años Mereles (8, 39), pero probablemente no en toda su dimensión antes de los trabajos de este proyecto. Se constituyen en cientos de kilómetros de masas flotantes sobre los espejos de agua del complejo y sin duda son los más desarrollados a nivel de vegetación conocidos en el país, evidentemente muy favorecido por el tipo de ambiente lacustre sobre el que se desarrollan.

Sin duda los embalsados prefieren aguas lénticas y se originan como agrupaciones de especies acuático-palustres y en general flotantes en sus primeros estadios. Mucho se ha referenciado sobre estos cuerpos de agua Burkart (40), Burkholder (41), Cabrera & Willink (42), Cabrera (43), Lalliana (44), Neiff & Orellana (45), Neiff (46), Mereles (47, 55, 48, 8, 39), Neiff (49), entre otros, quienes han descrito a los embalsados y el desarrollo de estos en diferentes cuerpos de agua. Según Schulz (28) y Tur (29), *Oxycarium cubense* es una de las especies que inicia el desarrollo como una epífita ubicada sobre otras especies flotantes de los géneros *Salvinia* y *Eichhornia*. A estas se suma muchas veces otras semiepífitas como *Hydrocotyle ranunculoides* Lalliana (44), que forman un entramado con las hojas sumergidas y radiformes de *Salvinia* sp. y las raíces de *Eichhornia* sp., reteniendo la

materia orgánica y convirtiéndose en un sustrato orgánico que favorece el desarrollo de plantas más robustas (30). Según Margaleff (50) los embalsados constituyen sistemas muy complejos y dinámicos en el que el huésped pasa a ser al final de las etapas de un embalsado el patrón de dicho consorcio, no siendo propiamente un caso de epifitismo real puesto que en éste el hospedero termina siempre con la muerte. Siguiendo la misma línea, Burkholder (41), menciona que el huésped interfiere siempre sobre el hospedero a través del bloqueo creciente de la luz en la medida en que aumenta la densidad poblacional y biomasa del huésped, incidiendo negativamente en la flotabilidad de las plantas.

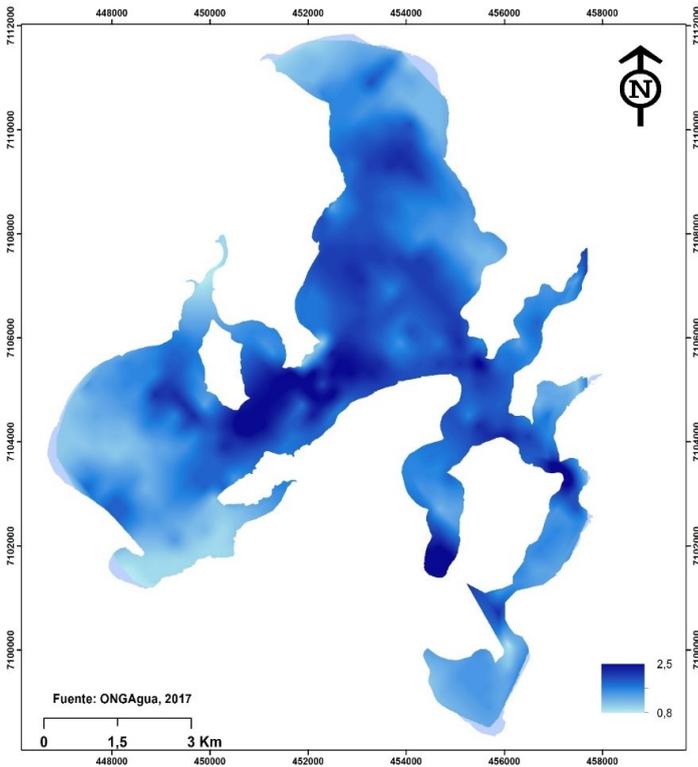


Figura 14: Profundidades de la Laguna Verá (7)

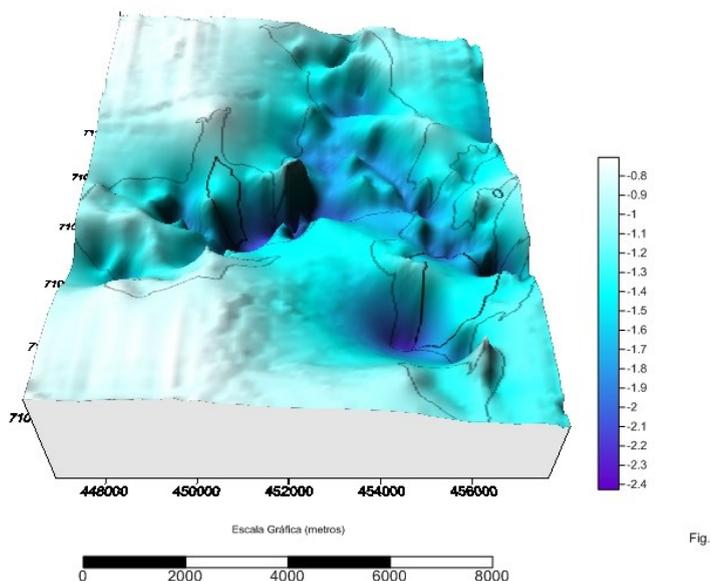


Fig. **Figura 15:** Representación en 3D de la Laguna Verá (7).

Evidentemente la distribución de las especies y la naturaleza de las aguas como por ejemplo el pH, promueven que otras fuera de las nombradas, inicien los embalsados. Así Tur (29), menciona a *Pistia stratiotes* como una de ellas sobre la cual se desarrollan las epífitas, afirmaciones ya discutidas más arriba; otras como *Paspalum repens* y *Leersia hexandra* entre otras, también inician masas de embalsados en las primeras etapas. Lo cierto es que todas estas especies entrelazadas entre sí, facilitan el atrapado de los sedimentos tanto de las aguas como en forma de polvo, permitiendo posteriormente no solo el desarrollo de especies de mayor porte sino también con presencia de rizomas de crecimiento más agresivo y de mayor tamaño como son *Cyperus haspan*, *Pycreus megapotamicus* *Eleocharis elegans*, *Oxycarium cubense*, *Fuirena robusta*, *Rhynchospora corymbosa* y otras ciperáceas, la orquídea acuática *Habenaria repens*, *Juncus sp*, *Syngonanthus caulescens*, *Hibiscus striatus* (30), *Rhabdadenia ragonesei* De Egea Elsam (51), entre otras. Mereles (47, 52), describió diversos estadios de embalsados en pequeños cuerpos de agua en el Chaco húmedo y lago Ypacaraí respectivamente, mencionando que, en los más consolidados con suelos más firmes pueden incluirse a ciertas especies arbóreas palustres tales como *Erythrina crista-galli*, *Salix humboldtiana* var. *humboldtiana*, *Cecropia pachystachya*, *Inga uraguensis* e inclusive *Copernicia alba* y *Sapium haematospermum*, entre otras.

Cuando los embalsados llegan a esta etapa de desarrollo, el sustrato sobre el cual se sostienen los vegetales deja de ser solo orgánico conformado por detritus vegetales, raíces de los mismos y demás y pasa a ser un suelo mucho más consolidado, cuya parte mineral está conformada por sedimentos inorgánicos (arenas de grano fino, limo, otros), traídos por el viento y muy probablemente por los sedimentos suspendidos en la masa de agua y retenido por las raíces y los rizomas de las especies con estas características y más robustas como las mencionadas arriba. Según la World Reference Base for

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

Soil Resources WRB (53) e Ibáñez (54), los suelos de los embalsados constituirían histosoles flóticos, con alta proporción de materia orgánica y baja de arena. Esta situación cambia con el tiempo, en la medida en que los sedimentos inorgánicos las arenas y otros van en aumento aprisionadas por las raíces más grandes, rizomas y mismo detritus más importantes, con lo cual pasan a dominar sobre el sustrato orgánico. Esta evolución indica que la denominación de histosol flótico probablemente debería ser modificada.

En el complejo de lagunas se pudieron determinar parcialmente nueve tipos de coberturas de embalsados que varían constantemente porque tienen dinámicas recurrentes y que pueden concretarse en tres etapas: la primera conformada solo por plantas flotantes, una segunda en donde la dinámica propia de las aguas o el comportamiento mismo de servomecanismo que presentan los embalsados, inician una fase de anclaje y fuerte formación de suelos más consolidados y finalmente una tercera en donde estos embalsados ya se encuentran anclados y con un suelo con alto grado de saturación y un nivel freático elevado. Esta última etapa es muy común y los embalsados se presentan como alfombras que soportan en algunos casos el pastoreo del ganado de estancias vecinas, especialmente en la temporada de aguas bajas, mientras que en la temporada de aguas altas se recupera la cobertura Figura 16.

Algunos ecólogos definen a los embalsados como pajonales (conjunto de gramíneas, ciperáceas y otras herbáceas palustres) o pirizales y que en las fotos satelitales no se diferencian de los esteros Carnevali (55)). Esto mismo se da con las masas de embalsados consolidados del Ypoá, en donde la diferenciación entre estas formaciones y los pastizales húmedos de suelos consolidados ya no se discriminan como tales a distancias satelitales ni tampoco a distancias terrestres de aproximadamente 300 m, en donde estas masas de vegetación acuático-palustre pueden fácilmente ser confundidas con pastizales.

## **CONCLUSIONES**

Siguiendo la hipótesis planteada, se considera que el complejo de tres lagunas: Ypoá, Cabral y Verá, conocido como Ypoá, corresponden a una sola masa de agua, dividida por los grandes embalsados, con el consecuente efecto de cuerpos de agua aparentemente separados en forma de lagunas. En efecto, los sedimentos extraídos del fondo de cada una de ellas denotan la presencia de arcilla coloidal y arcilla más consolidada mezclada con arena, además de restos de conchillas de moluscos sobre la superficie de los sedimentos, con profundidades entre 30-50 cm y más, a lo que se debe agregar la arena transportada por los cursos de agua que desembocan en la masa de agua.

El viento casi permanente, sumado a la depresión del sistema lagunar y la poca profundidad del agua sin duda juega un rol muy importante, removiendo los sedimentos en la masa de agua, los que son atrapados por las raíces y rizomas de los embalsados, sumado a aquellos sedimentos que son arrastrados en forma de polvo y que se depositan sobre las masas de vegetación. A su vez los embalsados muy consolidados van desarrollando un suelo que ya llega a las profundidades, consolidándose aún más. Los sedimentos probablemente no son eliminados del sistema en la proporción en que entran, debido a que la cota media de la laguna Verá, que descarga sus aguas en el río Tebicuary, son similares y de unos 55 m.s.n.m.

Las formas muy diferentes entre los tres espejos de agua, llama la atención como la forma sinuosa de la laguna Cabral y la muy irregular de la laguna Verá, distan mucho de la forma del lago Ypoá. Si el complejo se formó en el periodo Precámbrico, muy probablemente hubiera sido un solo cuerpo de agua, que con el tiempo los embalsados, por las características mencionadas, lo están dividiendo, tomando cada una de ellas formas muy irregulares y muy distintas entre sí.

A todo eso se agregan las primeras cartas de cartógrafos que vieron al complejo de lagunas como una sola denominándola Ypoá, que refuerza la hipótesis mencionada. Como se trata de un área de reserva que aunque muy indefinida como tal, sería muy bueno redefinir los límites reales en donde se incorporen no solo los espejos de agua aflorantes sino también los embalsados que ya lindan con las costas y las que van evolucionando sobre las aguas, considerando que estas masas muy probablemente constituyan el nicho más importante de biodiversidad de esta reserva como ser reptiles, aves y mamíferos de la zona, por citar a los más robustos.

Se concluye entonces que la evolución natural de los embalsados del complejo Ypoá demuestra una fuerte tendencia hacia la consolidación y la conversión de los mismos a herbazales húmedos, en un proceso de sucesión ecológica que progresa hacia sistemas más terrestres que acuáticos.

Por lo tanto, con el fin de preservar tanto la biodiversidad como las interesantes interacciones ecológicas que han destacado al complejo Ypoá como un área relevante para la conservación global, se recomienda reconocer el impacto que podría tener este proceso, que aunque natural, implica la pérdida permanente de ecosistemas acuáticos. Se sugiere además la realización de monitoreos periódicos de la evolución de los embalsados y su consolidación, de manera a tomar medidas restrictivas a su crecimiento, procurando de esta manera lograr una mayor permanencia de las masas de agua en el continente.

Por último, serán muy útiles los estudios que contemplen la geología y paleografía desde el Terciario hasta el Holoceno, pues la superficie del área fue formada cuando se levantó el cratón del Terciario e igualmente la construcción de un mapa regional intentando reconstruir la antigua masa de agua original y su evolución, desde la etapa completamente húmeda a una completamente seca, lo cual daría una idea del futuro del área.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Fondo Fiduciario de Excelencia para la Educación y la Investigación (FEEI) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT a través de PROCIENCIA, quienes financiaron los trabajos. Al Dr. Wolfgang Kruck por las interesantes sugerencias de futuros estudios en el área.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Canevari P, Blanco DE, Bucher E, Castro G, Davidson I, editores. Los humedales de la Argentina: clasificación, situación actual, conservación y legislación. Wetlands International; 1999.
2. Burgos S. Localización de los humedales en Paraguay. IN: Salas A, Mereles F, Yanosky A, editores. Humedales de Paraguay. Comité Nacional de Humedales, CNH, Fondo de Humedales

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

- para el Futuro, FHF, Convención RAMSAR, Proyecto WWF/01/PAR/2, Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos y Fundación Moisés Bertoni; 2004.
3. Mereles F, Aquino-Schuster LA. Breve reseña de los humedales en el Paraguay. *La Revista Crítica*. 1990;1(5): 49-66.
  4. Mereles F, Degen R, López de Kochalcka N. Los humedales del Paraguay: breve reseña de su vegetación. *Amazoniana*. 1992; 12(2): 305-316
  5. Vera Morínigo G. Aguas subterráneas: importancia de su preservación. *La Revista Crítica*. 1990;2(5): 62-72.
  6. Ritterbusch B. Estudio limnológico del lago Ypacaraí. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*. 1998;19(1): 11-26.
  7. Alfonso O, Brítez P, Centurión L, Larroza F, Fariña S. Relevamiento del Sistema Batimétrico del Sistema Lagunar del Ypoá. ONGagua. Documento Técnico generado en el marco del Proyecto Redefiniendo los Límites del Lago Ypoá, con apoyo del Fondo Fiduciario de Excelencia para la Educación y la Investigación (FEEI), PROCENCIA, Fundación Moisés Bertoni el CONACYT y el Centro para el Desarrollo de la Investigación Científica (CEDIC); 2018.
  8. Mereles F. Los humedales del Paraguay: principales tipos de vegetación. En Salas A, Mereles F, Yanosky A, editores. *Humedales de Paraguay*. Comité Nacional de Humedales, CNH, Fondo de Humedales para el Futuro, FHF, Convención RAMSAR, Proyecto WWF/01/PAR/2, Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos y Fundación Moisés Bertoni; 2004, p. 67-87.
  9. De Azara F. Descripción e Historia del Paraguay y del Río de La Plata. 1847.
  10. Harrington HJ. *Geología do Paraguai*. Buenos Aires: Univ. de Buenos Aires, Fac. Cienc. Exactas y Naturales. Contribuciones Científicas Ser. Geología I, 1950.
  11. Putzer H. *Die Geologie von Paraguay*. Beitrage Zur Regionalen Geologie der Erde. Gerbruder Borntraeger 2. 1962:(183).
  12. Vera Morínigo G, Facetti JF. El Precámbrico en el Paraguay. *Rev. Soc. Cient. Paraguay*. 1968;9(1-2).
  13. Wiens F. El Precámbrico paraguayo. Resumen. Simposio Nacional de Geología, Paraguay; 1984.
  14. Bittschene PR, Lippolt HJ. Acid magmatites of the Brasiliano Cycle in East Paraguay. *Zbl. Geol. Paläon. Teil*. 1983;9(19):1457-1468.
  15. Castillo AM. *Reavaliação da Geologia do Paraguai Oriental* [Tese de Doutorado]. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo; 1986.
  16. González ME, Bartel W, Lahner L, Wiens F. Mapa Geológico de la República del Paraguay, Hoja Paraguari 5469, escala 1:100.000 con texto explicativo; 1998.
  17. Granja AFDL. *Petrologia e Geocronologia da Suite Caapucu, Sul do Paraguai: magmatismo pos tectónico relacionado a evolucao de uma faixa móvel brasileira* [Dissertação de Mestrado]. Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2018.

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J, Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

18. Comte D, Hasui Y. Geochronology of Eastern Paraguay by the Potassium-argon methods. *Rev. Brasileira Geoc.* 1971;1:33-43.
19. Engler T. Petrografische und geocronologische Arbeitem im Ostteil des Rio Tebicuary-Kratons in Sudos-Paraguay. Heidelberg : Univ. Heidelberg; 1991.
20. Cubas NV, Garcete A, Meinhold KD, Benítez JC, Figueredo L, González ME, Burgath KP, Höhndorf A. Mapa Geológico de la República del Paraguay, Hoja Villa Florida, escala 1:100.000 con texto explicativo. Asunción: Archivos del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC); 1997.
21. Sanjurjo M, Vera Morínigo G. El sistema aluvional del río Paraná en Paraguay y Argentina. Conferencia. Sociedad Científica del Paraguay; 1980.
22. Giraut MA, Noguera L, Godoy A. El Mega Abanico Aluvial del Río Paraná: una geoforma de extensión binacional. VII Simposio Regional sobre Hidráulica de ríos. Montevideo, Uruguay; 2015.
23. López GO, González EE, de Llamas GPA, Molinas MA, Franco SE, García SS, Ríos AE. Proyecto Racionalización del Uso de la Tierra: estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar para la región Oriental del Paraguay. Asunción: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Informe Técnico; 1995.
24. Paraguay. Decreto del Poder Ejecutivo N° 13.681/1992 por el cual se designa Reserva para Parque Nacional al área del lago Ypoá.
25. Paraguay. Ley N° 1367/1998, Que delimita la Reserva para Parque Nacional Ypoá.
26. Paraguay. Ley N° 5859/2017, Por el cual se cambia la figura de protección al área del lago Ypoá a Reserva de Recursos Manejados.
27. Yanosky A, Cartes JL, Del Castillo H, Cacciali P. La Biodiversidad del Lago Ypoá. *Infoambiente.* 2013;1(1):21-32.
28. Schulz AG. Notas sobre la vegetación acuática chaqueña. “Esteros” y “Embalsados”. *Bol. Soc. Argentina Bot.* 1961;9:141-150.
29. Tur NM. Un caso de epifitismo acuático. *Bol. Soc. Argentina Bot.* 1965;10(4):323-327.
30. Arbo MM, López MG, Schinini A, Pieszko G. Las plantas de embalsado. En: Arbo MM, Tressens SG, editores. *Flora del Iberá.* Corrientes, Argentina: Editorial Universitaria de la Universidad Nacional del Nordeste (EUDENE); 2002, p. 36-39.
31. Mereles F. Introducción a los trabajos realizados en la cuenca del lago Ypacaraí. En: Mereles F, Araujo N, editores. *Aportes a la Mesa Técnica del lago Ypacaraí: compilaciones de los resúmenes de los trabajos realizados en la cuenca del lago Ypacaraí desde la década de 1930 hasta el presente.* Documento Técnico. Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Cámara de Senadores (CONADERNA); 2013.
32. Mereles F, Duré Rodas R. Las plantas Acuáticas y Palustres en el Paraguay. En: Mereles F, De Egea Elsam J, Céspedes G, Peña-Chocarro MC, Degen de Arrúa R, editores. *Las Plantas Acuáticas y Palustres del Paraguay Vol. I. Bryophyta, Pterodophyta y Angiospermae Monocotyledoneae.* San Lorenzo: Facultad de Ciencias Químicas; 2015, p. 29-30.

Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J, Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

33. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá, Colombia: Ministerio del Ambiente y Desarrollo Territorial; 2007.
  34. Pierron JA. Paraguay: Atlas géographique, statistique, historique et chronologique des deux Amériques et des îles adjacentes (mapa topográfico). Ales sct., Rue des Noyers. 1825(150).
  35. Society for the Diffusion of Useful Knowledge (Great Britain). S. Brazil, Paraguay, Uruguay.(mapa topográfico). Spis & Martius, Cazal, Roussin, Barral, Parchappe &c. David Rumsey Collection copy incorrectly bound in atlas as no. 152; 1837.
  36. Mouchez EAB. Carte de la République du Paraguay: cours du Parana et du Paraguay (mapa topográfico) Paris: Depot des Cartes et Plans de la Marine; 1862.
  37. Estevanez N. Paraguay (mapa topográfico). Garnier Hermanos, editores. Paris: Librería de Garnier Hermanos, 1885.
  38. Criado MA. Mapa de la República del Paraguay (mapa topográfico). Montevideo: Talleres Gráficos A. Barreiro y Ramos; 1908.
  39. Mereles F. Contribución al conocimiento de los humedales en el Paraguay: la diversidad vegetal en la cuenca del lago Ypoá, Paraguay Oriental I. Rev. Soc. Cient. Paraguay. 2007; 21:99-113.
  40. Burkart A. Ojeada sinóptica sobre la vegetación del delta del río Paraná. Darwiniana. 1957;11(3):467-561.
  41. Burkholder PR. Cooperation and conflict among primitive's organisms. American Sc. 1952;40:601-631.
  42. Cabrera AL, Willink A. Biogeografía de América Latina. Biología. 1973;13:72-74.
  43. Cabrera AL. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Buenos Aires: Editorial ACME; 1976.
  44. Lalliana V. Hydrocotyle ranunculoides, hemiepífita de Eichhornia crassipes. Rev. Asoc. Cient. Nat. Litoral. 1978;9:13-18.
  45. Neiff JJ, Orellana JA. Aspectos Ecológicos Relevantes de los histosoles del nordeste argentino. VIII Reunión Argentina de Ecología, Santa Fé, Argentina; 1982.
  46. Neiff JJ. Esquema sucesional de la vegetación en las islas flotantes del Chaco argentino. Bol. Soc. Argentina Bot. 1986;21(1-4): 325-341.
  47. Mereles F. Estudio de las comunidades vegetales de la cuenca del lago Ypacaraí. Rev. Soc. Cient. Paraguay. 1984;5(1):35-48.
  48. Mereles F. Evaluation of the Aquatic Flora Diversity in the Upper and Lower Río Paraguay Basin, Paraguay. En: Chernoff B, Willink P, Montambault J, editors. A Biological Assessment of the Aquatic Ecosystems of the Río Paraguay Basin, Alto Paraguay, Paraguay. Rap Bull. Of Biological Assessment 19; 2001, p. 56-60.
  49. Neiff JJ. Distribución de la vegetación acuática y palustre del Iberá. En: Poi de Neiff A, editor. Limnología del Iberá: aspectos químicos, físicos y biológicos de las aguas. Corrientes, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional del Nordeste; 2001.
  50. Margaleff R. Ecología. Madrid, España: Editorial OMEGA; 1974.
  51. De Egea Elsam J. Apocynaceae. Rojasiana Ser. Especial. 2018;(2): 486-487.
- Salas-Dueñas DA, Castillo AM, Rodríguez L, De Egea-Elsam J Mereles F. Los efectos de las grandes masas de embalsados sobre el espejo de agua del complejo de lagunas Ypoá, Paraguay

52. Mereles F. Salicaceae. Rojasiana Ser. Especial. 2014;(2):514-515.
53. World Reference Base for Soil Resource (Grupo de trabajo WRB). Primera actualización 2007. Informes sobre recursos mundiales de los suelos N° 103. Roma: FAO; 2007. Disponible en: [https://archive.org/stream/DraftWrb2007EspaoL/WRB2007\\_djvubxt](https://archive.org/stream/DraftWrb2007EspaoL/WRB2007_djvubxt)
54. Ibáñez J. Suelos flotantes sobre Ecosistemas flotantes: Los Embalsados. Un universo invisible bajo nuestros pies. Los sueños y la vida; 2009. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2009/01/16/111271>
55. Mereles F. Etude de la flore et de la végétation de la mosaïque forêt-savanne palmerai dans le Chaco boreal, Paraguay [Tesis N° 2999]. Faculté des Sciences, Université de Genève, Suisse; 1998.