

1

Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina)

Claudia Fernanda Fornerón¹, María Cintia Piccolo^{1,2}
y María Elizabeth Carbone^{1,2}

¹ Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET). Bahía Blanca.

² Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geografía y Turismo. Bahía Blanca.

@ [cfforneron@criba.edu.ar; piccolo@criba.edu.ar; ecarbone@criba.edu.ar]

Resumen

Se presenta la morfometría de la laguna Sauce Grande localizada en la provincia de Buenos Aires. Para caracterizar la laguna se utilizaron diversos índices morfométricos y se realizó la batimetría. Se utilizó una imagen satelital Landsat 7 ETM y se realizó una clasificación no supervisada con el método ISODATA, para obtener el área y el perímetro. El área de la laguna Sauce Grande es de 21.55 km² y presenta un perímetro de 28.5 km. Es un ambiente acuático joven. Presenta una cubeta de forma elipsoidal y somera. En base a la curva hipsográfica, su forma es cóncava. Presenta un fondo de pendientes muy bajas y una cierta irregularidad de la línea de costa. Es un cuerpo de agua originada por el almacenado natural del agua de escorrentía, producto de la presencia de la Barrera Medanososa Austral.

Palabras clave: morfometría, batimetría, imágenes satelitales, laguna Sauce Grande, Argentina.

Análise morfométrica da lagoa Sauce Grande (Argentina)

Resumo

É apresentada a morfometria da lagoa Sauce Grande localizada na província de Buenos Aires. Para caracterizar a lagoa se utilizaram diversos índices morfométricos e se realizou a batimetria. Foi utilizada uma imagem satelital Landsat 7 ETM e se realizou uma classificação não supervisada com o método ISODATA, para obter a área e o perímetro. A área da lagoa Sauce Grande é de 21.55 km² e apresenta um perímetro de 28.5 km. É um ambiente aquático jovem. Apresenta um fundo de forma elipsoidal e de pouca profundidade. Com relação à curva hipsográfica, sua forma é côncava. Apresenta um fundo de pendentes muito baixas e uma certa irregularidade da linha da costa. É um corpo de água originada pelo depósito natural da água vertida, produto da presença da Barreira Arenosa Austral.

Palavras-chave: morfometria, batimetria, imagens satelitais, lagoa Sauce Grande, Argentina.

Abstract

The morphometry of the Sauce Grande lagoon located in the province of Buenos Aires is presented. To characterize the lagoon, diverse morphological indexes were used and its bathymetry was analysed. In order to obtain the area and the perimeter a Landsat 7 ETM satellite image was used, and an unsupervised classification with the ISODATA method was realised. The Sauce Grande lagoon covers an area of 21.55 km² and has a perimeter of 28.5 km. It is a young aquatic environment, which presents a shallow basin of ellipsoidal shape. On the basis of the hypsographic curve, it has a concave shape. It has a very low bottom slope and certain regularity in its coastline. The water body is originated by run-off water and is a product of the presence of the Southern Medanos Barrier.

Keywords: morphometry, bathymetry, satellite image, Sauce Grande lagoon, Argentine.

Introducción

La caracterización morfométrica de un cuerpo de agua debe ser el punto de partida de las investigaciones limnológicas. A partir de ésta se puede determinar la ubicación de las estaciones de recolección de manera metódica y adicionalmente generar una idea general sobre el funcionamiento del sistema teniendo en cuenta las áreas de interfase agua –aire y agua– sedimento (Montoya-Moreno, 2005). Las investigaciones sobre lagos someros han ido en incremento desde la década del '80 (Hutchinson, 1957; Wetzel, 1983; Cole, 1988; Smith *et al.*, 2002). Los lagos someros son generalmente polimicticos y naturalmente más productivos que los lagos profundos, ya que los nutrientes están disponibles para la producción biológica durante toda la estación de crecimiento. Sin embargo, la escasa profundidad que presentan los hace más sensibles al enriquecimiento en nutrientes. También son más vulnerables durante los períodos extremadamente secos. No obstante, la escasa relación entre el volumen y la profundidad de la laguna (profundidad media) favorece su lavado y rejuvenecimiento en períodos húmedos (Quirós, 2004).

El origen de las cubetas lacustres y su morfología abarca un campo de interés que excede el estudio de su relación causal. La geomorfología de los lagos se relaciona con los procesos físicos, químicos y biológicos que

ocurren dentro del mismo (Wetzel, 1993). Los parámetros morfométricos son de gran ayuda para calcular la forma y las dimensiones de un cuerpo de agua. La importancia del estudio de la morfometría reside principalmente en que la forma del cuerpo de agua es uno de los determinantes junto con el clima y el tipo de suelos de su cuenca de drenaje, de su productividad biológica (Quirós, 2004). Así, la batimetría y morfometría de los cuerpos de agua presenta características diferentes debido a la influencia de los factores climatológicos, litológicos y a los usos de suelo predominantes. Las investigaciones sobre este tema son diversas a escala internacional. Se realizó una reconstrucción de las variaciones de los niveles de los lagos Michigan y Huron (Estados Unidos) basada en un modelo multilíneal de regresión, donde se relacionaron la precipitación anual y la temperatura del aire con los niveles del agua (Quinn y Sellinger, 2006). De la comparación entre los niveles de agua medidos y calculados se determinó que la erosión y el decrecimiento en los registros de precipitación serían las principales causas de las mayores caídas en los niveles del lago.

El lago Poyang (China) está sujeto a cambios de gran escala en el nivel del agua. En temporada de lluvias el tamaño del lago crece hasta 4000 km² mientras que en la estación seca se reduce a menos de 1000 km². La profundidad media es de 8 m, y la profundidad máxima es de 23 m (Jiang *et al.*, 2005). En África, se ha evidenciado una progresiva desecación de los cuerpos de agua. El lago Chad, en la zona subsahariana, las variaciones areales han sido estudiadas durante décadas mediante el uso de imágenes satelitales y mediciones radiométricas de los satélites NOAA. En 1965, el lago Chad presentaba un área de 25000 km², mientras que desde 1982 presenta un valor significativamente menor, 4000 km² (Helfert y Holz, 1985).

Los estudios internacionales relacionados a la influencia del factor litológico y los usos de suelo en la morfometría de lagos, son frecuentes. En el lago Arreo, España, se realizaron dos estudios batimétricos aplicando distintas metodologías (Martínez-Torres *et al.*, 1992; Rico *et al.* 1995). Se encontraron notables diferencias en lo que respecta a la delimitación de la lámina de agua en la zona litoral. Se observó una alteración morfométrica y de la cimentación del talud del lago debido a la extracción de agua para riego de cultivos. Obviamente el mantenimiento de la morfometría actual del lago requiere el cese de dicha actuación antrópica. Scheffer (1998) estudió la disminución de caudales de agua en acuíferos, arroyos y lagos así

como la de los niveles de agua como un efecto adverso proveniente de la actividad agrícola.

El lago Porcal, situado cerca del río Jararna (España), es un cuerpo de agua alcalina. La profundidad media es de 3 m y la curva hipsométrica es convexa. Se determinó que el lago es una mezcla de sustancias provenientes de su paisaje litológico de yeso y que la alta tasa de deposición de sedimentos influye en la morfometría del mismo (Álvarez Cobelas *et al.*, 1987). Se elaboraron mapas actualizados de batimetría y de las variables hidrológicas de la laguna de Yalahau en México (Aguilar-Salazar *et al.*, 2003). Los autores detectaron variaciones significativas en la temperatura y el pH del agua las cuales se relacionarían con la profundidad y los sedimentos suspendidos y particulados de la laguna.

Chávez López y Álvarez Arellano (2006) determinaron la batimetría, distribución de facies sedimentarias y ambientes de depósito en la laguna Guásimas (México). Se identificaron tres zonas relacionadas con la profundidad y distribución de facies sedimentarias: los tamaños de arena gruesa moderadamente seleccionada se encuentran en la entrada donde la profundidad va de 0.5 a 10 m, cambiando a arena muy fina mal seleccionada hacia el norte donde la profundidad va de 0.5 a 3 m y a limo mal seleccionada hacia el sur con 0.5 a 1 m de profundidad. Este arreglo es típico de laguna costera y la distribución del sedimento se encuentra asociado a las corrientes de agua dentro del ambiente lagunar.

En la región pampeana de Argentina, la sucesión de periodos climáticos secos y húmedos llevó a un importante desarrollo de sistemas de humedales y lagos someros en las áreas deprimidas, comúnmente denominados lagunas (Iriando, 1984; 1989). Como consecuencia de las condiciones topográficas de la región, las lagunas pampeanas presentan un tiempo de permanencia del agua altamente variable y dependiente del balance precipitación-evapotranspiración. En el estudio de estos cuerpos de agua son importantes sus medidas y para compararlos con otros cuerpos de agua, las dimensiones deben ser expresadas en forma cuantitativa mediante el uso de parámetros morfométricos (Håkanson, 1981). La morfometría de las lagunas pampeanas más importantes fue estudiada por Dangavs (1976, 1995). Este autor realizó una descripción sistemática de los parámetros morfométricos de estos cuerpos de agua tales como ancho y largo máximo, desarrollo de la línea

de costa, área, volumen, profundidad máxima. Este autor encontró una gran diversidad de lagunas con diferentes características morfométricas.

En particular, en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) los cuerpos lagunares de las lagunas Malaver, Unamuno y La Salada han sido estudiadas por Geraldí *et al.* (2004) Bohn *et al.* (2007) y Fornerón (*et al.*, 2008), respectivamente. En la primera, durante períodos húmedos, se determinó una velocidad de crecimiento areal de 1,84 km² mensuales del cuerpo de agua (Geraldí *et al.*, 2004). En cuanto a la laguna Unamuno, se aplicó el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) y se definieron años normales, secos y húmedos (Bohn *et al.*, 2007) obteniéndose diferentes valores de crecimiento del cuerpo lagunar. En la laguna La Salada, partido de Bahía Blanca, Fornerón (*et al.*, 2008) aplicaron un criterio de clasificación basado en un parámetro estadístico de quintiles. Se compararon dos años, uno representativo de precipitaciones normales en el área de estudio (1998) con otro con precipitaciones superiores a la normal (2002). En el año 2002 la laguna aumentó un 50% su área en ocho meses (abril a diciembre). En cuanto a la variación interanual, se evidenció un aumento del 150% en el área de la laguna entre los años 1998 y 2002. En todos los casos se demostró que el régimen pluviométrico tuvo incidencia directa en las variaciones espaciales de estos cuerpos de agua, ya que no existieron otras variables ambientales y/o antropogénicas que puedan haber afectado su extensión. Ante un aumento de la precipitación, las lagunas experimentaron un incremento del espacio cubierto por agua.

Referido a la morfometría de lagunas se destacan los trabajos de Geraldí *et al.* (2008) y Bohn (2009). En las Encadenadas del Oeste (Buenos Aires, Argentina) Geraldí (*et al.*, 2008) compararon los datos morfométricos de los diferentes cuerpos de agua que conforman el sistema. Del análisis surge que la gran producción de biomasa presente no depende de la morfometría sino que se relaciona directamente con la actividad y el uso del suelo predominante en el sector. Bohn (2009) realizó un estudio morfométrico (área, forma, etc) de las lagunas del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires relacionados al régimen de precipitación que caracteriza la región. Se analizaron más de 2000 cuerpos de agua. El análisis de las imágenes satelitales indicó que el 94% de las lagunas presentaron un área inferior al km² mientras que un 3% presentó un área entre 2 y 3 km². El análisis de frecuencias mostró un predominio de lagunas con LMT inferior a 1 km y

orientación heterogénea, como consecuencia del predominio de lagunas de formas redondeadas. La profundidad media encontrada fue de 0.70 m. El trabajo se complementó con el establecimiento de patrones de distribución de las lagunas en base al conocimiento de las variables climáticas, geomorfológicas, hidrográficas y edafológicas.

La laguna Sauce Grande (38° 57' S, 61° 24' O) se localiza en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1). Es un cuerpo de agua que recibe el aporte del río Sauce Grande y descarga sus aguas al mismo, poco antes de su desembocadura en el mar. Se presenta como un gran ensanchamiento de este río el que termina en un umbral natural de cierre lo que le permite mantener cierto nivel de agua y una constante renovación del agua que baja desde el lago del Dique Paso de las Piedras (Paoloni *et al.*, 1972). Es una extensa y alargada depresión en sentido O- E, con costas bajas de tosca con suaves declives, por lo general barrosas y con juncuales emergentes raleados y no muy accesibles. El fondo es de fango en casi su totalidad y de conchilla en su orilla Sur (Remes Lenicov y Colautti, 2003). Desde el punto de vista biogeográfico se ubica en el límite entre las Provincias Pampeana y del Espinal siendo la vegetación predominante la estepa gramínea (Cabrera, 1976). En este espejo de agua se desarrollan numerosas actividades recreativas, siendo uno de los principales atractivos la pesca deportiva de pejerrey (Fernández, 2003). El clima en el que se desarrolla es templado de transición, con isotermas entre valores de 14 y 15 ° C y con precipitaciones anuales que oscilan entre 600 y 700 mm (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

No existen mapas batimétricos ni estudios morfométricos actuales detallados de la laguna. En este sentido, el presente trabajo pretende realizar la batimetría y el análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande relacionados a la climatología, los rasgos geomorfológicos y litológicos del área, con el fin de utilizarlos para una futura planificación de las actividades que se realizan en la laguna.

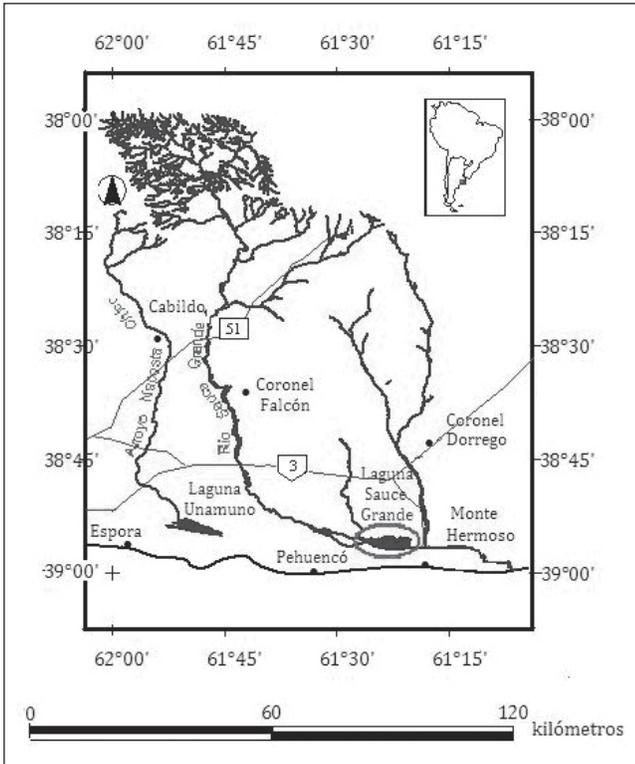


Figura 1. Localización del área de estudio.

Método de trabajo

Para la delimitación de la cuenca de la laguna se utilizó el Modelo de Elevación Digital de United States Geological Survey (USGS, 2004) cuyas curvas de nivel fueron corregidas con la digitalización de 22 cartas topográficas en Arc GIS 9.2 a escala 1:50000 del Instituto Geográfico Militar (IGM). Por el método de interpolación de los valores de las curvas de nivel, se obtuvo el propio Modelo de Elevación Digital del terreno.

Para la medición de la profundidad de la laguna, se realizó una campaña hidrográfica el día 26 de septiembre de 2008 a bordo de una embarcación de 7 m de eslora y se empleó una ecosonda portátil Bathy 500 MT. El intervalo de medición fue de 2 seg y se realizaron transectas transversales y longitudinales de 1 km de distancia una de otra. El traductor de la ecosonda se

instaló entre la proa y la popa de la embarcación, a 40 cm de la superficie del agua. Se georreferenciaron los sitios de medición con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Se aplicó el método de interpolación de los puntos de profundidad y se elaboró el mapa batimétrico. Para obtener el área y el perímetro de la laguna se utilizó una imagen satelital Landsat 7 ETM (path/row 226/087) del día 14 de octubre de 2008 de resolución espacial de 30 m, provista por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). La imagen fue corregida geométrica y radiométricamente. Se utilizó el método de clasificación no supervisada ISODATA.

En la Tabla 1 se muestran las características e índices morfométricos estimados de acuerdo con Hutchinson (1957) y Håkanson (1981).

Tabla 1. Parámetros Morfométricos.

PARÀMETROS MORFOMÈTRICOS
A Área de la superficie de la laguna
P Perímetro de la laguna
Z Profundidad máxima de la laguna
z Profundidad media de la laguna = V/A
z / Z Cociente entre las profundidades media y máxima de la laguna
Z_r Índice de la profundidad relativa = $50 Z \pi / A$
V Volumen de la laguna = $A * Z$
L Longitud máxima de la laguna, línea que conecta los dos puntos más extremos de un cuerpo de agua
W Ancho medio de la laguna = A / L
Wmax Ancho máximo de la laguna, longitud de la línea recta perpendicular al eje de longitud máxima
L/W Relación entre la longitud máxima y el ancho medio de la laguna
DI Índice de desarrollo de costa = $P/ 2(\pi A)^{1/2}$

Geomorfología, geología y génesis de la laguna

La laguna Sauce Grande se encuentra inmersa dentro de la región de la llanura pampeana, denominada “Pampa Ondulada”, que presenta una suave inclinación N-S que desciende desde la Sierra de la Ventana hasta el nivel del mar (Fig. 2). La planicie pampeana está constituida por áreas planas

que alternan con suaves lomadas cubiertas por pastizales, mientras que los relieves montañosos constituyen una porción muy pequeña de la región, el Sistema de Ventania. La laguna Sauce Grande se ubica a los 25 msnm (Fig. 2). En gran parte de la planicie el drenaje es endorreico o arreico (Quirós *et al.*, 2002). En relación con la hidrografía de la región se destaca el río Sauce Grande, el arroyo Los Leones y el De Las Mostazas, de origen estructural (Fig. 2). La cuenca del río Sauce Grande tiene sus nacientes en el sistema de las sierras Australes de dicha provincia, más conocidas como Sierras de la Ventana. Esta cuenca posee tres partes o secciones diferenciadas: la cuenca alta, la cuenca media y la cuenca baja. Esta última se extiende desde la altura aproximada del paralelo 38° 50' S hasta su desembocadura en la laguna Sauce Grande. La dirección general del cauce es NNO a SSE, mientras que en la cuenca baja dicha dirección se hace visiblemente ONO a ESE, esto se debe a la escasa pendiente y a la presencia de la cadena de medanos que impide que el río desembogue al mar, sin cambiar el rumbo. El río Sauce Grande vierte sus aguas en la laguna Sauce Grande, la cual a su vez derrama sus aguas por intermedio de un pequeño valle casi paralelo a la costa marítima del Océano Atlántico. La cuenca de la laguna presenta un área de 3 027 km² y un perímetro de 360.5 km e incluye la cuenca del arroyo Los Leones (Fig. 3).

Figura 2. Topografía del área de estudio.

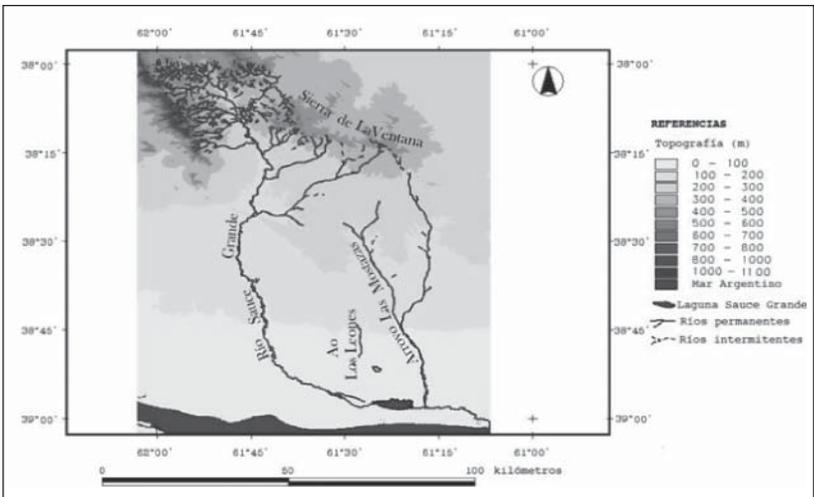
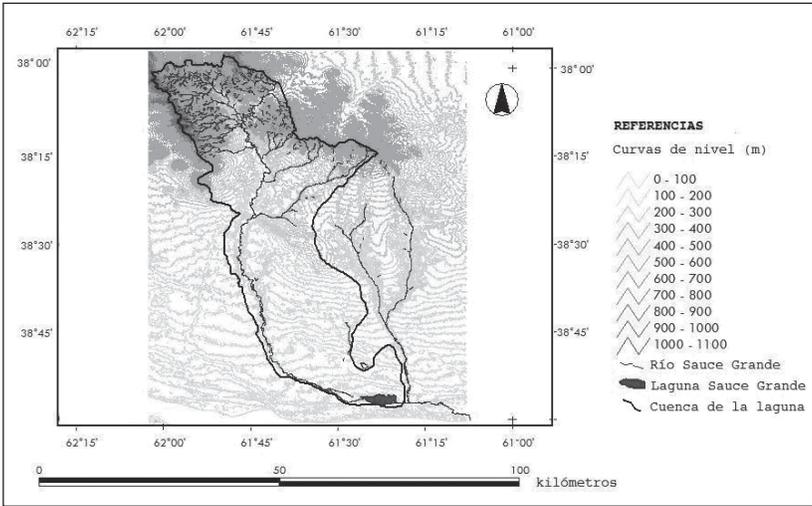


Figura 3. Delimitación de la cuenca de la laguna Sauce Grande.



De acuerdo a la Clasificación de Suelos de la provincia de Buenos Aires (INTA, 1989) la mayor parte del sector está cubierto por un manto de loess de 70 a 120 cm de espesor, depositado sobre una potente costra calcárea. En las pendientes suaves, se halla el tipo de suelo Argiustol Típico fino, mientras que en la parte más alta del paisaje se desarrolla el Argiustol Típico, somero. En las áreas más bajas por la presencia de cubetas, aparecen suelos hidromórficos y alcalinos. En la transición hacia el litoral arenoso, la textura más gruesa del material da lugar al Haplustoll Típico de familia franco gruesa (Fig. 4). Se desarrolla en un paisaje ondulado-medanoso, con lomas bien definidas y cordones arenosos y presenta un perfil desprovisto de materia orgánica. Las principales limitaciones son la erosión eólica y la alta permeabilidad.

El área de estudio está constituido superficialmente por sedimentos loésicos de edad cuaternaria, genéricamente conocidos como “Sedimentos Pampeanos” (Fidalgo *et al.*, 1973, 1975). Estos depósitos sedimentarios cubren gran parte del área considerada bajo la forma de cordones de medanos, con origen en las fuerzas eólicas que actuaron bajo paleoclimas áridos y en las oscilaciones del mar durante el cuaternario, respectivamente (Tricart, 1973). La laguna Sauce Grande es un cuerpo de agua originado por el embalsado natural del agua de escorrentía condicionado por la presencia de la Barrera Medanosa Austral (Fig. 5). La misma evolucionó como consecuencia de la

fluctuación del nivel del mar a partir del Holoceno medio que dejó abundante sedimento litoral que migró hacia el interior (Isla, 1989; 1998). Esta barrera está compuesta por arenas de granos redondeados a subredondeados, de tamaño uniforme cuyo mayor porcentaje corresponde a arena fina y muy fina. Son sedimentos porosos de alta permeabilidad, baja capilaridad y cubiertos por un manto vegetal ralo. Estos factores evitan en parte la evaporación, permitiendo a su vez una rápida infiltración y desplazamiento del agua hacia reservas subterráneas. La barrera medanosa Austral está dominada por vientos del Oeste y Noroeste y debido a la orientación Oeste- Este de esta cadena favorece la formación de medianos transversales. Los medianos más antiguos son los viejos acantilados marinos ubicados actualmente en el litoral donde no hubo reciclado mientras que los más recientes son los más alejados de la costa (Isla *et al.*, 2001).

Morfometría

La morfometría de la laguna Sauce Grande está relacionada principalmente con su origen, historia y con sus características geológicas de su cubeta. Estos condicionantes influyen a su vez en el comportamiento térmico, régimen hidrológico y dinámica de la misma. El mapa batimétrico detallado y actualizado de la laguna Sauce Grande se presenta en la Figura 6. Longitudinalmente se observa que la laguna está formada por una única cubeta. Los resultados muestran que es un cuerpo de agua somero con valores de profundidad entre 0.6 y 1.8 m. Las máximas profundidades se evidencian en el área central con valores de 1.8 m (Fig. 6). Este valor se encuentra entre los típicos de lagunas pampeanas en las cuales la profundidad no excede los 4 metros (Ringuelet, 1972). El perfil longitudinal de la laguna mostró pendientes muy pronunciadas en la costa Este de la laguna y pendiente suave en el sector Oeste (Fig. 7). En el perfil transversal del fondo se observan pendientes casi simétricas a lo largo de los 2.4 km, con las mayores profundidades en el centro del cuerpo de agua (Fig. 8). La cubeta presenta dirección general O- E.

Figura 6. Batimetría de la laguna Sauce Grande. Posicionamiento de las transectas transversal y longitudinal.

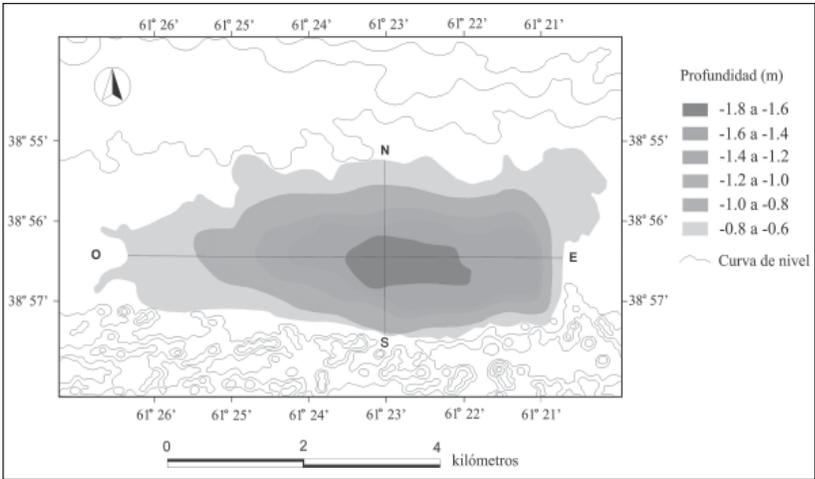


Figura 7. Perfil longitudinal de la laguna.

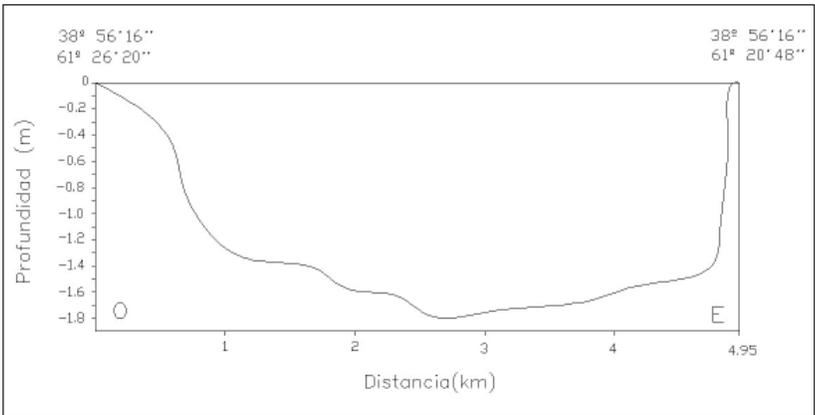
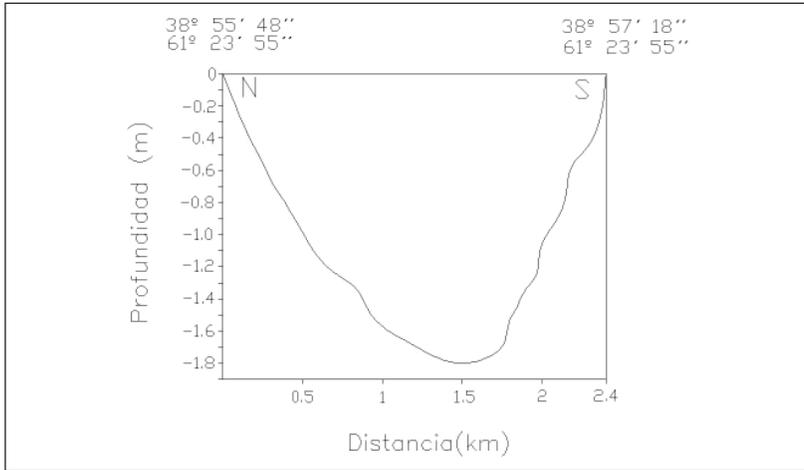


Figura 8. Perfil transversal de la laguna.



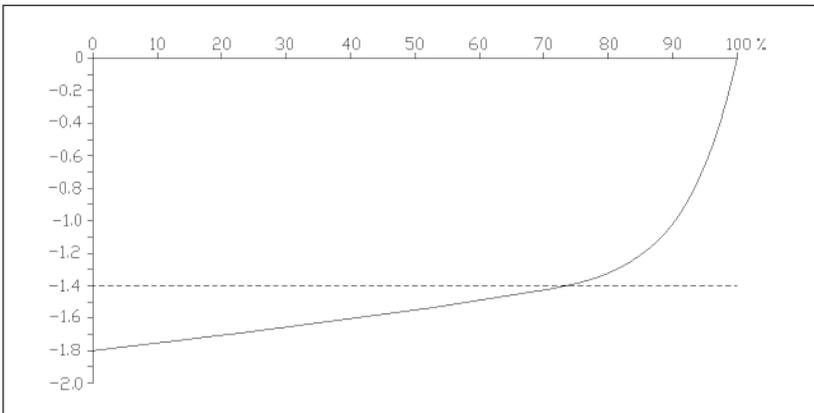
El área (A) y el perímetro (P) lagunar son dos parámetros morfológicos que varían en función de las precipitaciones y la evaporación. Esta es una característica importante teniendo en cuenta que el clima del área de estudio es templado de transición, por lo tanto, presenta dos características especiales. Por un lado, las estaciones del año están bien definidas y existe una marcada amplitud térmica; por el otro, hay una alternancia de periodos húmedos y secos en toda la región (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Quirós *et al.* (2005) considera como grandes lagunas pampeanas aquellas cuya superficie es superior a los 2 km². El A de la laguna Sauce Grande es de 21.55 km² (2 155 ha) y presentó un P de 28.5 km. Por lo tanto se la considera un cuerpo de agua grande. La L de la laguna es de 8.02 km, el W 2.63 km y el Wmax 3.27 km.

Un parámetro importante que determina el grado de sedimentación es el volumen (V) de la laguna. Los grandes volúmenes son una consecuencia natural de la evolución de la cubeta de un lago, pues a medida que éste envejece el índice va incrementándose paulatinamente por la constante acumulación de sedimentos. En el caso de la laguna Sauce Grande el V es de 21.55 hm³, lo que señala que es un ambiente acuático joven.

La profundidad media (z) es el parámetro morfométrico que mejor caracteriza y resume su funcionamiento y producción, además de la estructura ecosistémica de un ambiente acuático una vez definidas sus características

climáticas y edáficas. En la laguna este valor es 1.4 m. Wetzel (1993) afirma que una relación z y Z cercana a 0.7 caracteriza una cubeta de forma elipsoidal de lagos someros con fondos de pendientes muy bajas. Este cociente para la laguna Sauce Grande es de 0.77 lo que indica que es un cuerpo de agua con las características mencionadas y de grandes dimensiones. Esto mismo se evidencia en la curva hipsográfica relativa del volumen del área versus la profundidad (Fig. 9), donde más del 70% de los valores de profundidad se encuentran por encima del valor medio de profundidad 1.4 m. La forma de la laguna Sauce Grande atendiendo a la clasificación propuesta por Håkanson (1981) en función de la curva hipsográfica relativa es cóncava. En los lagos con curvas hipsográficas relativas cóncavas la profundidad media es menor que la mediana de la profundidad. La relación de profundidad y del desarrollo del volumen es un buen descriptor de la forma de la cubeta y en este caso se corresshallow lakeen con la morfometría de la laguna: un fondo predominantemente plano y paredes litorales inclinadas.

Figura 9. Curva hipsográfica de la laguna.



La relación entre el área del lago, por donde entra la energía desde el exterior y la profundidad, a través de la cual se disipa la energía, tiene una importancia fundamental en la dinámica biológica de la laguna (Catalán, 1987); esta relación se puede expresar numéricamente con la profundidad relativa (Z_r), que es la profundidad máxima expresada como un porcentaje del diámetro de un círculo. Dado que la capacidad del viento para provocar

la mezcla varía en función de estos parámetros, Z_r se considera un indicador de la estabilidad de la columna de agua. Así, Wetzel (1983) señala que la mayoría de los lagos tienen una profundidad relativa de menos del 2%, mientras que los profundos y de superficie pequeña exhiben una mayor estabilidad y tienen generalmente valores de Z_r de más de 4%. Para las lagunas pampeanas el parámetro Z_r es extremadamente bajo dado la escasa profundidad de las mismas, pero generalmente aumenta con la disminución del tamaño del cuerpo de agua (Quirós *et al.*, 2005). En el caso de la laguna Sauce Grande este índice es de 0.34 % indicando que los factores externos tienen una influencia relativamente alta sobre la estabilidad de la columna de agua.

Con respecto al índice de desarrollo de la línea de costa (DI), si una cubeta que contiene la masa de agua tiene forma circular, el valor de este índice será igual a 1. A medida que el valor aumenta también la irregularidad de la costa, indicándonos rápidamente la forma de la misma. Es decir, que este valor es un índice del grado de regularidad de la costa. Las grandes lagunas pampeanas presentan un DI que oscila entre 1.3 y 3.5, con una mediana de 1.6 (Danvags, 1976). Para la laguna Sauce Grande el valor de este índice es de 1.73 lo que indica una cierta regularidad de la línea de costa y corrobora la forma alargada que presenta este cuerpo de agua.

La mayoría de los principios de la limnología pueden ser demostrados en base a la comparación entre lagos. La comparación entre los mismos permite obtener generalidades sobre eutrofización, sucesiones estacionales de plancton, características de la cuenca y condiciones de manejo (Horner y Goldman, 1994). La distribución general de las lagunas en la región pampeana austral (Argentina) está influenciada por la presencia de loess y suelos de textura arenosa. La orientación general de los cuerpos de agua cercanas a la cadena de medanos es NO- SE resshallow lakeiendo a la dirección predominante de los rasgos morfológicos superficiales de la provincia de Buenos Aires (Frenguelli, 1950). Predominan las lagunas de formas elípticas y ovoides debido a la influencia en su desarrollo de la Barrera Medanos Austral. La laguna Sauce Grande se localiza a 30 kilómetros de distancia de la laguna Unamuno (Fig. 1) y se presenta como una cuenca exorreica con desembocadura al mar. La primera recibe con dirección ONO- ESE, al río homónimo con un caudal medio de 4.54 m³/s; mientras que la segunda es una cuenca endorreica y recibe, con dirección NO- SE, el aporte del arroyo

Napostá Chico con un caudal medio de $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$. La laguna Sauce Grande se presenta con una forma ovoide y compacta en sentido predominante O- E, en tanto que la laguna Unamuno presenta una cubeta alargada en dirección NO- SE. Los valores morfométricos hallados para la laguna Sauce Grande y la laguna Unamuno (Bohn, 2009) se encuentran dentro de los rangos típicos de lagunas pampeanas. Se evidencia que la primera presenta mejor definida sus costas y profundidades menores. A pesar de estas diferencias morfométricas ambos cuerpos de agua se desarrollan en el mismo ambiente, sobre el mismo tipo de suelos (Argiustol) y presentan similitud en cuanto al origen. Son cuerpos de agua originadas por el almacenado natural del agua de escorrentía producto de la presencia de la Barrera Medanos Austral, la cual si bien condiciona el desarrollo de sus formas, tiene importancia a nivel regional ya que resguarda a las lagunas de los fuertes vientos y absorbe el impacto de las tormentas estacionales.

Conclusión

La batimetría de la laguna Sauce Grande permitió conocer su perfil de fondo. La profundidad máxima alcanzó los 1.80 m en el sector central de la laguna mientras que el valor medio no superó los 1.40 m. El área de la laguna Sauce Grande es de 21.55 km^2 y presentó un perímetro de 28.5 km. Estos parámetros pueden variar en función de las precipitaciones y la evaporación, debido a que el clima del área de estudio es templado de transición. El ancho medio es de 2.63 km y la longitud máxima de 8.02 km. En cuanto al volumen, la laguna Sauce Grande es un ambiente acuático joven. Presenta una cubeta somera de forma elipsoidal con dirección O- E, con fondo de pendientes muy bajas y una cierta irregularidad de la línea de costa. La laguna Sauce Grande es una típica laguna pampeana ya que todos sus valores se encuentran dentro de los rangos establecidos. La topografía de la región, la estacionalidad de la pluviometría, la escasa permeabilidad de los suelos y el carácter somero del cuerpo de agua son factores que favorecen al predominio de los procesos de evaporación y precipitación sobre aquellos relacionados a los aportes de aguas superficiales y subsuperficiales. Se concluye que dado a estos factores, la hidrología de la laguna es altamente dependiente de las

precipitaciones “in situ” pudiendo experimentar un incremento del espacio cubierto por agua ante un aumento de la precipitación.

Agradecimientos

El presente trabajo se realiza en el marco de la Beca de Posgrado Tipo I otorgada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y con fondos otorgados en proyectos de la Universidad Nacional del Sur (UNS) y *Agencia* Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Los autores agradecen a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y al Dr. Walter Melo por su aporte en la delimitación de la cuenca de la laguna.

Bibliografía

- AGUILAR-SALAZAR, F., GONZÁLEZ-ITURBE, J. A.; SENTIES-GRANADOS, A.; RUEDA, M.; HERRERA-SILVEIRA, J.; OLMSTED, I.; REMOLINA-SUÁREZ, F.; MARTÍNEZ-AGUILAR, J.; FIGUEROA-PAZ, R. y FIGUEROA-PAZ, F. (2003). “Batimetría, variables hidrológicas, vegetación acuática sumergida y peces de la laguna Yalahau, Quintana Roo, México”. *Instituto Nacional de la Pesca*. México. 22 p.
- ÁLVAREZ COBELAS, M., RUBIO, A., ARAUZO, M., ALARCÓN, P. y ALARIO, V. (1987). “Morfometría y composición química de una laguna de gravera”. *Limnética*. Asociación Española de Limnología, Madrid. España. 3: 91-95.
- BOHN, V. Y., PERILLO, G. M. y PICCOLO, M. C. (2007). “Aplicación del índice estandarizado de precipitación a la Laguna Unamuno”. *Geoscientia* 32. 40, 75-81.
- BOHN, V. Y. (2009). “Geomorfología e hidrografía de las lagunas del Sur de la provincia de Buenos Aires”. Tesis doctoral. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 244 pp.
- CABRERA, A. (1976). *Regiones fitogeográficas argentinas*. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Editorial ACME. Buenos Aires. Tomo II. 86 pp
- CAMPO DE FERRERAS, A.; CAPELLI DE STEFFENS, A. y DIEZ, P. (2004). *El clima del Sudoeste Bonaerense*. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 99 pp.
- CATALÁN, J. (1987). “Limnología de l'estany Redó (Pirineu Central)”. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 230 pp.
- CHÁVEZ LÓPEZ, S. y ÁLVAREZ ARELLANO, A. (2006). “Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas Sonora, México”. *Investigaciones Geográficas*, 17-21.
- COLE, G. (1983). *Textbook of limnology*. Saint Louis: C. V. Mosby Company. 401 pp.
- COLE, G. (1988). *Manual de Limnología*. Ed. Hemisferio Sur. S.A. 405 pp.
- DANGAVS, N. (1976). “Descripción sistemática de los parámetros morfométricos considerados en lagunas pampásicas”. *Limnobiós*. Buenos Aires, Argentina. 1: 35-39.
- DANGAVS, N. (1995). “Morfometría de cuerpos lénticos”. En: *Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio*. E.

- Lopretto y G.Tell (dir.). Ediciones Sur. La Plata. 1: 1-25.
- FERNÁNDEZ, C. (2003). "Calidad bacteriológica en aguas recreativas de la laguna Sauce Grande". Tesina de grado. Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 35 pp.
- FIDALGO, F., FRANCESCO, F. D. y COLADO, U. (1973). "Geología superficial en las Hojas Castelli, Cobo, J. M., y Monasterio (Provincia de Buenos Aires)". *Actas del V Congreso Geológico Argentino*. Buenos Aires. 27-39.
- FIDALGO, F.; DE FRANCESCO, F. O. y PASQUAL, R. (1975). "Geología superficial de la llanura bonaerense (Argentina)". *VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio*. Bahía Blanca. 103-138.
- FORNERÓN, C. F., BOHN, V. y PICCOLO, M.C. (2008). "Variación del área de la laguna La Salada en relación al régimen pluviométrico de la región". *Contribuciones Científicas GAEA*. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. Buenos Aires. 109-120.
- FRENGUELLI, F. (1950). "Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires". *Anales LEMIT*, serie II. La Plata. 33: 72 pp.
- GERALDI, A. M., y PICCOLO, M. (2004). "Variación espacial de la Laguna Malaver (Provincia de Buenos Aires, Argentina)". *Actas de V Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Fritschy B. (Edit.). Universidad Católica de Santa Fe. 111- 118.
- GERALDI, A. M., PICCOLO, M. C. y PERILLO, G. M. E. (2008). "Morfometría de las lagunas Encadenadas del Oeste". *Physical Geography*. (En prensa)
- HÅKANSON, L. (1981). *A manual on lake morphometry*. Springer Verlag, Berlin. 78 pp.
- HELFFERT, M. y HOLZ, R. (1985). "Multi-source verification of the desiccation of Lake Chad, Africa". *Advances in Space Research* 5(6):379 - 384.
- HORNE, A. y GOLDMAN, C. (1994). *Limnology*. McGraw-Hill, Inc. New York. 464 pp.
- HUTCHINSON, E. (1957). *A treatise of Limnology*. Geography, physics and chemistry. New York. 1015 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (1989). Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Instituto de Suelos. INTA. Buenos Aires. 525 pp.
- IRIONDO, M. (1984). "The Quaternary of north-eastern Argentina". In: *Rabassa, J. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 2: 51-78.
- IRIONDO, M. (1989). "Quaternary lakes of Argentina". *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleocology*. 70: 81-88.
- ISLA, F. I. (1989). "The Southern Hemisphere sea level fluctuation". *Quaternary Sciences Review*, 8: 359 -368.
- ISLA, F. I. (1998). "Holocene coastal evolution of Buenos Aires". *Quaternary of South America & Antarctic Peninsula*. 11: 297-321.
- ISLA, F. I.; CORTIZO, L. y ORELLANO TURNO, H. (2001). "Dinámica y Evolución de las Barreras Medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina". *Revista Brasileira de Geomorfología*. 2, (1): 73-83.
- JIANG, L., YUA, X., ZHAOA, H. y ZHOUA, Y. (2005). "China's Wetlands Restoration around Poyang Lake, Middle Yangtze: Evidences from Landsat TM/ETM Images. Proc. of Geoscience and Remote Sensing Symposium". *IGARSS '05, IEEE International*. 4: 25-29.
- MARTÍNEZ-TORRES, L. M.; GONZÁLEZ-TAPIA, J. R y RAMÓN-LLUCH, R. (1992). "Batimetría y propuesta de cartografía geológica del lago Arreo (Diapiro de Salinas de Añana, Alava)". *Eusko Ikaskuntza*. Cuadernos de Sección. Historia, 20: 123 -134.
- MONTOYA-MORENO, Y. (2005). "Caracterización morfométrica básica de tres lagos someros en el municipio de El Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia". *Actualidades Biológicas*. 27: 79 -86.
- PAOLONI, J. D., TUJCHNEIDER, O. C. y LUQUE, J. A. (1972). "Caracterización hidrológica de la cuenca del Río Sauce Grande en primera fase". *Investigaciones Agropecuarias INTA*, V. IX, 1 -20.
- QUINN, F. y SELLINGER, C. (2006). "A reconstruction of Lake Michigan-Huron water levels derived from tree ring chronologies for the period 1600-1961". *Great Lakes Res.* 32, 29-39.

- QUIRÓS, R., ROSSO, J., RENNELLA, A., SOSNOVSKY, A. y BOVERI, M. (2002). "Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas (Argentina)". *Interciencia*. 27 (11): 584 -591.
- QUIRÓS, R. (2004). "Sobre la Morfología de las Lagunas Pampeanas". Serie de Documentos de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática. Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Documento N° 3, 16 pp.
- QUIRÓS, R., BOVERI, M., RENNELLA, A., PETRACCHI, C., ROSSO, J., SOSNOVSKY, A. y VON BERNARD, H. (2005). "Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas". *EUTROSUL*. San Carlos, Brazil. 1-14.
- REMES LENICOV, M. y COLAUTTI, D. (2003). "Laguna Sauce Grande, Partido de Monte Hermoso". Informe técnico N° 55. Campaña de relevamiento limnológicos e ictiológicos. Buenos Aires. 20 pp.
- RICO, E., CHICOTE, A., GONZÁLEZ, M. E y MONTES, C. (1995). "Batimetría y análisis morfométrico del lago de Arreo (N. España)". *Limnética*. Asociación Española de Limnología, Madrid. España. 11 (1): 55-58.
- RINGUELET, R. (1972). "Ecología y biocenología del hábitat lagunar o lago del tercer orden de la región neotrópica templada (Pampasia Sudoriental de la Argentina)". *Physis* 31 (82): 55-76.
- SCHEFFER, M. (1998). *Ecology of Shallow Lakes*. Riza. Lelystad. The Netherlands. 346 pp.
- SMITH, S.V., RENWICK, W.H., BARTLEY, J.D. y BUDDEMEIER, R.W. (2002). "Distribution and significance of small, artificial water bodies across the United States landscape". *The Science of the Total Environment*. 299: 21-36.
- TRICART, J. (1973). *Geomorfología de la Pampa Deprimida*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 202 pp.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2004). "Modelo de Elevación Digital". <http://gisdata.usgs.net>
- WETZEL, R.G. (1983). *Limnology*. 2 Ed., Philadelphia, Pennsylvania, Saunders. 743 pp.
- WETZEL, R.G. (1993). *Limnología*. Fundacao Calouste Gulbenkian, Lisboa. 919 pp.