



**La Incidencia de la Pendiente en la Distribución de las Morfologías de las Lagunas sobre Lomadas Arenosas (Corrientes, Argentina)**

**The Incidence of Slope as a Factor in the Morphological Distributions of the Shallow Lakes on Sandy Hills (Corrientes, Argentina)**

Félix Ignacio Contreras<sup>1,2</sup> & Silvina Andrea Contreras<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CONICET – UNNE).  
Ruta Provincial N° 5, Km 2,5; CP 3400. Corrientes, Corrientes, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE),  
Av. Libertad 5470; CP3400. Corrientes, Corrientes, Argentina.  
E-mail: figcontreras@hotmail.com; sailcontreras11@gmail.com

Recibido em: 12/11/2016 Aprobado em: 09/01/2017

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_1\\_15\\_25](http://dx.doi.org/10.11137/2017_1_15_25)

**Resumen**

En la provincia de Corrientes, el río Paraná ocupó sucesivamente diferentes tramos de su abanico aluvial, formando lomadas arenosas. En la actualidad, contiene un gran número de lagunas descritas como pequeñas y circulares, teniendo en cuenta una descripción cualitativa obtenida de fotografías aéreas e imágenes satelitales. Sin embargo, hasta el momento los estudios acerca de la distribución, tamaño, características morfométricas y funcionalidades de las lagunas solo se limitaban a estudios de casos particulares. Por tal motivo, surgió la necesidad de profundizar los conocimientos de estos cuerpos de agua en su totalidad, a fin de lograr información más integral de la región que las contiene. Los resultados de este trabajo permitieron conocer la distribución de 38926 lagunas, con una densidad de 3 lagunas por Km<sup>2</sup>, que representan el 20% de la densidad lacustre del paisaje. A su vez, predomina la forma circular (72%) y las restantes varían en subcirculares y triangulares. En cuanto a la distribución de las formas sobre el paisaje de lomadas arenosas se pudo observar que existe un gradiente en dirección Este-Oeste, donde la concentración de formas más complejas aumenta hacia el Este y las formas simples y circulares aumentan hacia el Oeste. Esta situación se relaciona directamente con la topografía de las lomadas arenosas con un gradiente que va en la misma dirección. Mayores diferencias topográficas permiten una mayor interconexión de lagunas y en consecuencia formas complejas, mientras que por el contrario, relieves más planos hacia el Oeste contribuye a la segmentación de lagunas. Como resultado del análisis estadístico de las variables morfométricas de las lagunas en función de la topografía de las lomadas arenosas, ha posibilitado clasificar al mega abanico aluvial del río Paraná en diferentes tramos.

**Palabras clave:** Lagunas; Morfometría; Ecología del Paisaje; Abanico aluvial del río Paraná

**Abstract**

In the Corrientes Province, the Paraná River ran through different sections of the alluvial fan, forming sandy hills. Currently, over sandy hills a large number of small circular shallow lakes is developed. They were classified considering a qualitative description of aerial photographs and satellite images. However, the studies about the distribution, size, morphometric features and functionality of the shallow lakes only confined to specific case studies. Therefore, in order to obtain further information from the region that contains these water bodies, greater knowledge about the shallow lakes will be generated. The results of this paper allowed knowing the distribution of 38,926 shallow lakes, which account for 20% of the landscape surface. 72% of the total of shallow lakes has a circular shape and the remaining 28% has sub-circular and triangular shapes. An E-W distribution of shallow lakes is observed, where the most complex forms are distributed to the East and the simple/circular shapes increase toward the West. Major topographic differences allow greater lagoon interconnections and therefore complex shapes. On the contrary, western flatter reliefs contributes to the segmentation of lagoons. Statistical analysis of the morphometric variables of the shallow lakes according to the topography of the sandy hills, has classified in different sections mega alluvial fan of the Parana river.

**Keywords:** Shallow lakes; Morphometry; Geomorphology; Parana River mega fan

## 1 Introducción

En la Provincia de Corrientes existen más de 30.000 lagunas someras sobre las lomadas arenosas formadas por el mega abanico aluvial del río Paraná. Fueron descritas como pequeñas lagunas circulares, a través de la observación de fotografías aéreas o imágenes satelitales sin conocimiento precisos sobre sus valores morfométricos.

Conocer el paisaje y las dinámicas naturales que intervienen en él implican, entre otras cosas, la cuantificación de los elementos que lo componen, el análisis del patrón espacial y de su relación con los procesos que lo estudian para reducir la complejidad del paisaje, a un conjunto de valores numéricos o índices (Turner & Gardner, 1991; Matteucci, 1998; Moizo Marrubio, 2004).

Es importante considerar las relaciones existentes entre los elementos que constituyen el paisaje, ya que la estructura de un sistema está formada no sólo por características determinadas, sino también por las relaciones entre los mismos. De allí que para lograr una comprensión completa del funcionamiento del paisaje es necesario identificar los procesos de interacción entre los elementos y considerar las escalas espacio-temporales a las que se manifiestan (Zonneveld, 1995; De Lucio *et al.*, 2003; Gurrutxaga San Vicente & Lozano Valencia, 2008).

Al estudiar los patrones estructurales del paisaje, es decir, la disposición y características espaciales de los elementos que lo conforman, hay que establecer métodos objetivos para cuantificarlos y convertirlos en medidas cartográficas (Turner *et al.*, 2001; Vila *et al.*, 2006). Es en este punto donde los Sistemas de Información Geográfica facilitan esta tarea a la hora de calcular, tanto los atributos espaciales del paisaje como de sus componentes (Romero Vargas, 2005; Gurrutxaga San Vicente & Lozano Valencia, 2008).

La provincia de Corrientes posee un gran número de lagunas de distintos orígenes y con dinámicas geomorfológicas muy diferentes, pese a encontrarse muy próximas entre sí (Contreras, 2011). No obstante, en la actualidad no existen antecedentes que mencionen cuan significativas son estas lagunas en la configuración del paisaje, siendo muy abundantes y teniendo una amplia distribución en la provincia.

Estudios referidos a la morfometría y su incidencia sobre las características de los lagos fueron muy abordados por numerosos autores comenzando por Hutchinson (1967). Sin embargo, en nuestra área de estudio, no existen antecedentes acerca de los valores morfométricos de las lagunas de lomadas arenosas, siendo que la caracterización morfométrica de un cuerpo de agua debe ser el punto de partida de las investigaciones limnológicas, ya que a partir de ésta se puede determinar la ubicación de las estaciones de recolección de manera metódica, adicionalmente, se genera una idea global sobre el funcionamiento del sistema teniendo en cuenta las áreas de interfase agua – aire y agua – sedimento (Montoya Moreno, 2008:414).

La diferenciación de los elementos morfológicos fundamentales del paisaje, abre una amplia gama de posibilidades de valoración cuantitativa con el objetivo de analizar la situación en un momento dado, así como la evaluación de los cambios a lo largo del tiempo y su incidencia paisajística, ecológica, etc. En definitiva, la superficie, la forma, el número y la disposición de los elementos del paisaje condicionan de forma clave su realidad y su dinamismo, así como también sus perspectivas futuras (Vila *et al.*, 2006:156).

Por otra parte, en Contreras (2011) se propuso que la pendiente de las lomadas arenosas sería la principal responsable de las distintas etapas de evolución y conexión entre las lagunas, aunque no se pudo comprobar si la misma repercutía en la morfología de estos cuerpos de agua.

En este contexto, este trabajo tiene por objetivo dar a conocer como la pendiente incide en la morfometría y en consecuencia, en la morfología de las 38926 lagunas ubicadas sobre las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina).

## 2 Materiales y Métodos

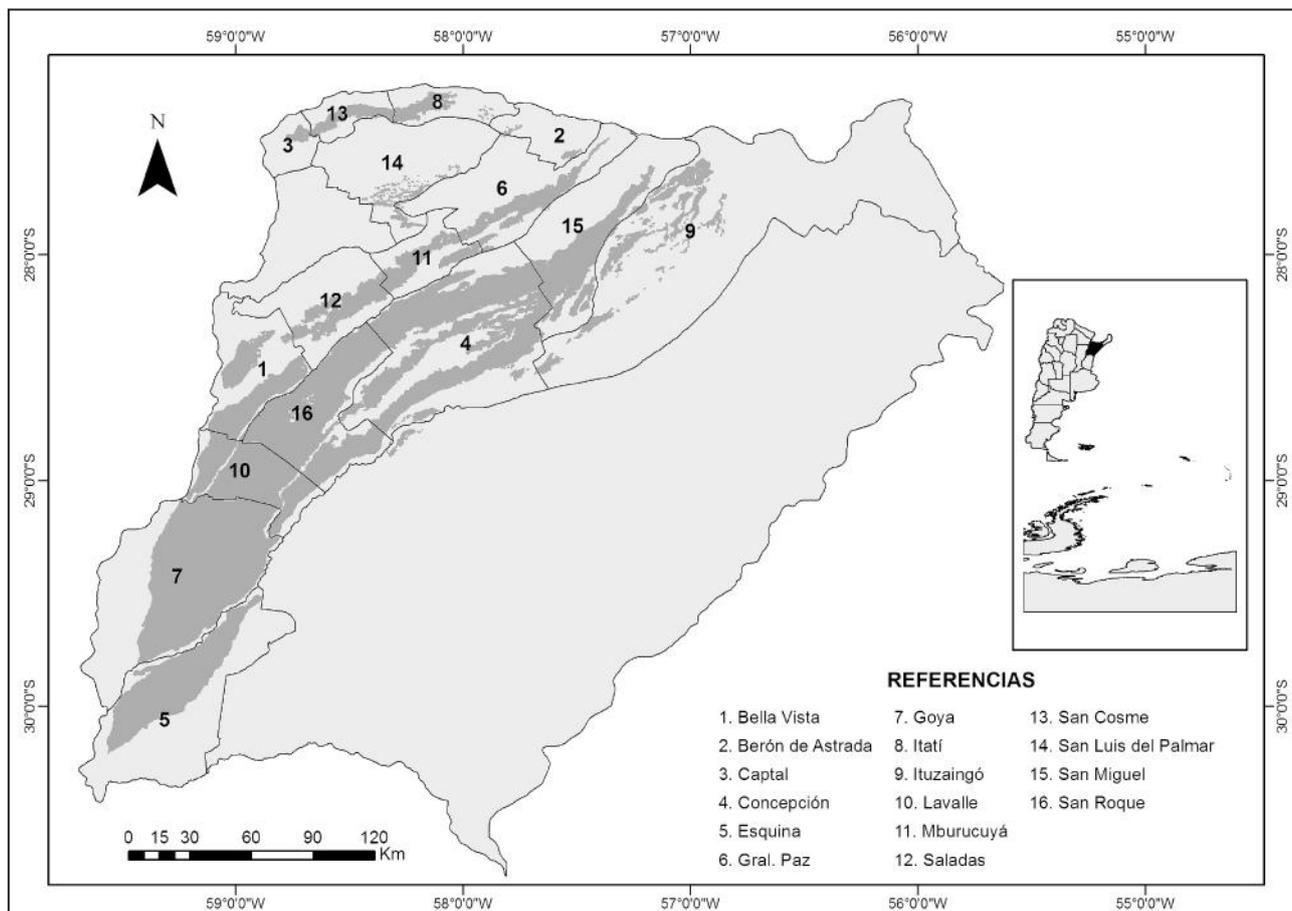
### 2.1 Área de Estudio

El trabajo se desarrolló sobre 16 departamentos al Oeste de la Provincia de Corrientes, que abarcan las lomadas arenosas (Figura 1). Las lomadas arenosas corresponden al abanico aluvial o “mega abanico” formado por el sistema del río Paraná, que cubre el NO y parte del SO de la provincia de Corrientes (Argentina), así como parte del

Paraguay. Presenta una distancia lineal de alrededor de 260 km de longitud en sentido N-S y 500 km de ancho (Contreras *et al.*, 2014). Durante el Cuaternario Superior, el río Paraná fue creando cursos relativamente estables que finalmente fueron abandonados por la corriente principal y sustituidos por grandes pantanos. Durante las fases secas, se produjo una importante deflación de arena en los cursos abandonados generando campos de dunas del orden de los 80 Km de largo y 5 Km de ancho. El curso actual del río cruza el abanico con dirección E-O; con una red de avenamiento en la cual se observan islas y bancos elípticos de arena (Iriundo & Paira, 2007). Durante el Plioceno, el río Paraná escurría por el actual borde oriental del sistema del Iberá y el curso del río Corriente. Movimientos tectónicos alteraron la disposición de los grandes bloques desencadenando cambios en el diseño de escurrimiento de las aguas superficiales. Así, el cauce del Paraná fue moviéndose paulatinamente hacia el NO hasta ocupar su actual posición a fines del Pleistoceno.

Durante su desplazamiento, el Paraná ocupó sucesivamente diferentes tramos del río Paraguay y, en consecuencia, la confluencia de ambos ríos fue migrando progresivamente hacia el norte (Orfeo & Neiff, 2008). Los canales abandonados fueron sucesivamente ocupados por cursos autóctonos (como el San Lorenzo, Empedrado, Sombrero y Riachuelo), esteros y bañados (Castellanos, 1965), entre ellos, los esteros Batel y Batelito, y lagunas que, bajo un clima subtropical semejante al actual (Morton, 2004).

En la actualidad al paisaje de lomadas arenosas se lo describe como un paisaje de pastizales de *Andropogon lateralis* e isletas boscosas de *Prosopis sp.*, los cuales se intercalan con un gran número de pequeñas lagunas circulares, temporales y permanentes, que se distribuyen sobre toda la región, y alcanzan un total de 38926 cuerpos de agua.



## 2.2 Análisis de los Datos

Para la digitalización de las lagunas se generaron polígonos de forma manual mediante el uso del software Google Earth y corregidos mediante la herramienta *reshape* de ArcGIS 10.1, utilizando las imágenes del *World Imagery*. Se utilizó una altura del ojo no mayor a los 100 m, para delimitar las cubetas con la mayor precisión posible, durante la generación de los polígonos.

Seguidamente, se procedió a vectorizarlos, calculando el Perímetro, la Superficie y el Desarrollo de la Línea de Costa ( $D_L$ ) de cada laguna en la proyección *WGS 1984 UTM Zona 21 S*. El cálculo de  $D_L$  se realizaron mediante la siguiente fórmula:

$$D_L = P / 2 \sqrt{(A \cdot \pi) 0,5} \sqrt{(A \cdot \pi) 0,5}$$

Donde P es igual al perímetro de la laguna y A es el área de la misma.

Para cada una de las variables analizadas se calcularon los estadísticos descriptivos (media, desvío estándar, rango de variación, asimetría y kurtosis). Además, a fin de estimar el grado de variación y la significancia estadística de dichas variables, los promedios se compararon mediante un análisis de la varianza (ANOVA) a un nivel de significación del 5%, luego de realizar un test de Bartlett de homogeneidad de las varianzas. Las diferencias entre cada par de medias se estimaron mediante el test de Tukey al 5%. Además, para evaluar el grado de asociación entre las variables estudiadas se realizó un análisis de correlación de Pearson.

Finalmente, con el objeto de evaluar la similitud de las características morfométricas de las lagunas presentes en los departamentos de la provincia de Corrientes y de ordenarlos en base a dichas similitudes se realizó un análisis de componentes principales (PCA) a partir de una matriz de datos estandarizada de 38926 lagunas por 16 departamentos. El cálculo del PCA se realizó sobre una matriz de correlación calculada a partir de los datos obtenidos. Los resultados fueron representados gráficamente desplegando la distribución de los departamentos en un espacio bidimensional.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Infostat versión 2014 (Di Rienzo *et al.*, 2014). Se clasificaron a los departamentos que integran la región de lomadas arenosas según los resultados obtenidos del análisis multivariado PCA. Posteriormente fueron representados cartográficamente en ArcGIS 10.1.

## 3 Resultados y Discusiones

### 3.1 Distribución de Lagunas

Un total de 38926 de cuerpos de agua fueron encontradas a través de la digitalización de las lagunas del paisaje de lomadas arenosas en la provincia de Corrientes (Argentina). Presentó una superficie total de 2422 Km<sup>2</sup> lo cual equivale a un 3% de la superficie de la provincia de Corrientes y un 20% en promedio de densidad lacustre sobre las lomadas arenosas (Figura 2).

Según Meybeck (1995), se entiende por densidad lacustre al área total del conjunto de lagos de una región, referida al área de dicha región, y expresada en porcentajes. Según Castillo Jurado (1992), la densidad lacustre varía desde valores menores a 0.1% a más de 10% en regiones que no fueron afectadas por las últimas glaciaciones, pero esta variable siempre depende del clima, la tectónica, y la litología.

Existen valores muy bajos en regiones áridas de China, India y Argentina; y en general en sustratos donde el agua se filtra fácilmente (Sur de Europa; Francia; Japón; Indonesia). Por otro lado, valores más altos se dan en escudos cristalinos, y en las montañas afectadas por las glaciaciones, donde suele superar el 8%. También serían elevados en valles aluviales, ya que en las regiones árticas de Siberia y Canadá supera el 50%, debido al terreno encharcado por la fusión del permafrost (Jurado Castillo, 1992:117; Meybeck, 1995).

Los altos valores de densidad lacustre registrados sobre las lomadas arenosas se encuentran relacionados con las abundantes precipitaciones anuales, que rondan en los 1200 mm en años normales, entre 900 - 1000 mm en años secos y superiores a 1400 mm en años húmedos.

Al ajustar la unidad de análisis a nivel departamental (Tabla 1), el cual representa un corte

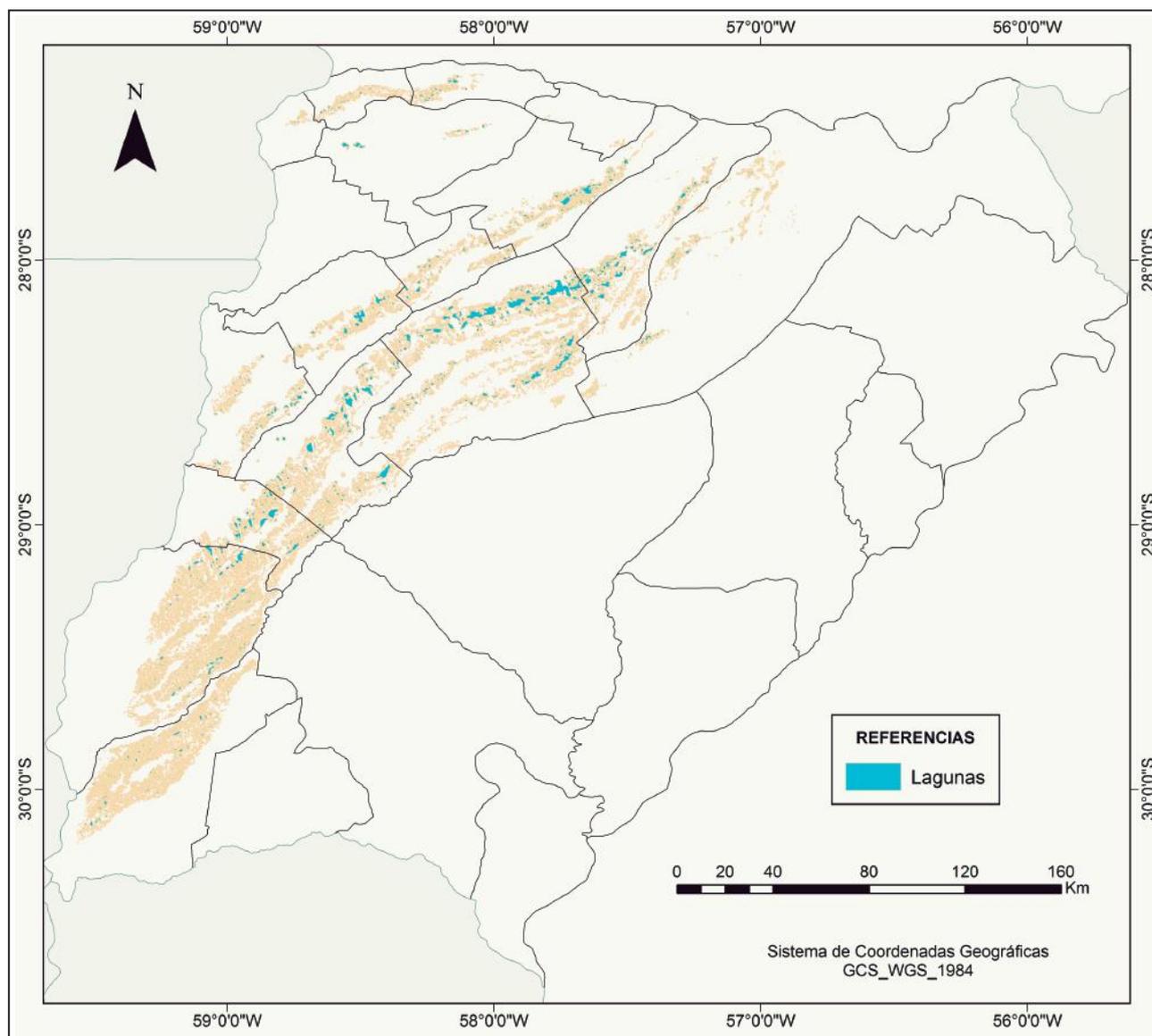


Figura 2 Distribución de lagunas del paisaje de lomadas arenosas.

netamente antrópico, el patrón de 3 lagunas por km<sup>2</sup> sigue siendo representativo, confirmando esta densidad a nivel de paisaje.

### 3.2 Morfometría de Lagunas

El análisis estadístico mostró que, en todas las variables, los datos se distribuyeron con una asimetría positiva y de forma leptocúrtica (Tabla 2).

La superficie promedio de las lagunas es de 61303,57 m<sup>2</sup> ± 491274,01 m<sup>2</sup>, variando entre 90,07 m<sup>2</sup> y 61929211 m<sup>2</sup>. Predominan las lagunas pequeñas (85% se encuentra por debajo de la media), de las cuales el 30% del total (11580 lagunas), no supera los 5000 m<sup>2</sup> de superficie.

En cuanto al perímetro, el valor medio es de 742,80 m, variando entre 37,66 m y 124559,76 m. En concordancia con los valores del área, el 75% de las lagunas posee un perímetro inferior al valor medio. En relación al  $D_L$ , el valor medio es de  $1.14 \pm 0,23$  (el 72 % es inferior al promedio), variando entre 1,01 y 5,73. Un 99% de las lagunas tuvo un valor de  $D_L$  inferior a 2, dejando en claro que las formas complejas serían una excepción dentro de las lomadas arenosas. Tanto la superficie como el  $D_L$  están correlacionados de manera significativa y positiva con el perímetro ( $r= 0,87$ ,  $p < 0,00$  y  $r= 0,71$ ,  $p < 0,00$ , respectivamente), mientras que entre el área y el  $D_L$  la correlación es significativa y positiva aunque baja ( $r= 0,41$ ,  $p < 0,00$ ). Además, el

perímetro y el  $D_L$  difieren significativamente entre los Departamentos.

De acuerdo con la clasificación de formas de lagos propuesta por Timms (1992) en función de los valores de  $D_L$ , se formaron dos grandes grupos. Por un lado lagunas de Formas Simples, que agrupan a las lagunas Circulares (1 – 1,14), Subcirculares (1,15 – 1,29) y Triangulares (1,3 – 1,99) y por el otro, las lagunas de Formas Complejas, que comprenden a las lagunas Irregulares Simples (2 – 2,99), Dendríticas (3 – 3,99) e Irregulares Complejas ( $\geq 4$ ) (Tabla 3 Y 4).

IS: Irregulares simples; D: Dendríticas e IC: Irregulares complejas.

Teniendo en cuenta esta clasificación, las Formas Simples serían las más representativas en la

Departamentos	Cantidad	Superficie Total (Km <sup>2</sup> )	Densidad lacustre (%)	Densidad (Lag/ Km <sup>2</sup> )
Bella Vista	1001	98	17	2
Berón de Astrada	61	3	18	3
Capital	114	5	12	3
Concepción	6529	490	19	3
Esquina	8364	244	18	6
General Paz	1243	125	29	3
Goya	9525	479	21	4
Itatí	308	34	28	2
Ituzaingó	817	94	19	2
Lavalle	2812	144	18	3
Mburucuyá	1151	73	21	3
Saladas	1151	89	22	3
San Cosme	499	36	20	3
San Luis del Palmar	56	3	12	2
San Miguel	1718	224	26	2
San Roque	3577	280	20	3
Totales	38926	2421	20	3

Tabla 1. Cantidad de lagunas, superficie total, densidad lacustre y densidad de lagunas por departamento.

Variable	Media	D.E.	Mín.	Máx.	Asimetría	Kurtosis
Área	61303,57	491274,01	90,07	61929211,1	65,8	7004,26
Perímetro	742,80	1704,18	37,66	124559,76	22,15	1001,36
$D_L$	1,14	0,23	1	5,73	4,52	36,32

Departamentos	N°	C	C	SC	SC	T	T
		(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)
Bella Vista	1001	729	73	124	12	128	13
Berón de A.	61	52	85	4	7	5	8
Capital	114	91	80	12	10	11	10
Concepción	6529	4697	72	979	15	786	12
Esquina	8364	5987	72	1160	14	1106	13
General Paz	1243	873	70	166	13	183	15
Goya	9525	7072	74	1231	13	1131	12
Itatí	308	205	67	52	17	44	14
Ituzaingó	817	340	42	177	22	241	29
Lavalle	2812	2186	78	326	12	282	10
Mburucuyá	1151	890	77	156	14	93	8
Saladas	1151	871	76	136	12	135	12
San Cosme	499	374	66	118	21	67	12
S. Luis del P.	56	46	82	6	11	4	7
San Miguel	1718	1189	69	261	15	249	14
San Roque	3577	2394	67	586	16	526	15
Totales	38926	27996	72	5494	14	4991	13

Tabla 3 Frecuencia de las distintas formas simples de lagunas en los Departamentos estudiados. C: Circulares, SC: Subcirculares y T: Triangulares

Departamentos	N°	IS	IS	D	D	IC	IC
		N	%	N	%	N	%
Bella Vista	1001	20	2	0	0	0	0
Berón de A.	61	0	0	0	0	0	0
Capital	114	0	0	0	0	0	0
Concepción	6529	56	1	11	0	0	0
Esquina	8364	98	1	11	0	2	0
General Paz	1243	17	1	4	0	0	0
Goya	9525	81	1	6	0	4	0
Itatí	308	7	2	0	0	0	0
Ituzaingó	817	52	6	4	0	3	0
Lavalle	2812	15	1	3	0	0	0
Mburucuyá	1151	10	1	1	0	1	0
Saladas	1151	9	1	0	0	0	0
San Cosme	499	7	1	0	0	0	0
S. Luis del P.	56	0	0	0	0	0	0
San Miguel	1718	16	1	1	0	2	0
San Roque	3577	63	2	8	0	0	0
Totales	38926	451	1	49	0	12	0

Tabla 4 Frecuencia de las distintas formas complejas de lagunas en los Departamentos estudiados.

Tabla 2 Medidas descriptivas de la totalidad de lagunas del paisaje de lomadas arenosas (Corrientes, Argentina).

región, ya que constituyen un 99% de las lagunas estudiadas. Las Formas Complejas por el contrario, no solo son reducidas en cantidad sino que además no se presentan en todos los departamentos como en el caso de Capital, Berón de Astrada y San Luis del Palmar.

En la región de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes el 72% de las lagunas poseen una forma circular (27996 lagunas), seguidas de las subcirculares 14% (5494), triangulares 13% (4991), irregulares simples 1% (451), dendríticas (49) e irregulares complejas (12). Solo en los departamentos de Esquina, Goya Ituzaingó, Mburucuyá y San Miguel se encontraron las seis formas propuestas, mientras que los demás departamentos presentaron en su mayoría formas simples e Irregulares Simples.

La mayoría de las lagunas presentaron bajos valores en las distintas variables cuantitativas analizadas. Esto puede deberse, entre otras cosas, a las características de la distribución de las lagunas. Mientras más aisladas se encuentren las lagunas entre sí, menor es la probabilidad de que se conecten con otra laguna y, por ende, de modificar su morfología. Cabe destacar, que las lagunas con mayores tamaños aparecen como casos esporádicos; en departamentos donde el ancho de sus lomadas ronda entre los 15 y 30 km, mientras que en Berón de Astrada y Capital no supera los 5 km, no hay registro de ellas. Esta situación se debe a que las lomadas anchas pueden albergar un mayor número de lagunas, y en consecuencia, aumenta la probabilidad de que aparezcan formas complejas. Según Contreras (2011), la topografía juega un papel fundamental en la interconexión de las lagunas del paisaje de lomadas arenosas, con lo cual no solo es necesario que exista cierto ángulo de pendiente, sino que también hay que tener en cuenta el contexto topográfico de cada laguna.

La Figura 3 muestra la ubicación de lagunas circulares y de formas complejas en una porción del departamento Goya. En la figura se observa como las lagunas circulares se encuentran en áreas más planas y abiertas, aunque se observa cierto grado de alineación entre ellas, ya que en un pasado reciente formaban parte de un escurrimiento superficial y en la actualidad se encuentran segmentadas. Por el contrario, las formas Irregulares Complejas, de mayor tamaño que las circulares, se distribuyen como si fueran lagunas interdunas, ocupando depresiones

centrales generadas por la erosión hídrica. Bajo esta idea se puede considerar que las lagunas circulares que las rodean, habrían formado parte de estas lagunas más grandes.

A partir de la observación de imágenes satelitales, se aprecia que la mayoría de las lagunas de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina) se clasifican en pequeñas lagunas circulares. Los bajos valores del  $D_L$  observados permiten respaldar cuantitativamente dicha percepción, evidenciando, además, el amplio predominio de las lagunas circulares y de la escasa superficie ocupada individualmente por sus cuerpos de agua; sin embargo pese a ser la forma más representativa y poseer el mayor número de lagunas, solo representan un 20% de densidad lacustre total.

La mayor correlación del  $D_L$  con el perímetro y no con la superficie evidencia que independientemente de su tamaño, las lagunas pueden adoptar diferentes formas.

Por otra parte, la relación entre los valores de  $D_L$  y las etapas de evolución de las lagunas, no es necesariamente unidireccional, aunque generalmente se esperaría un origen en cubetas circulares, que con el tiempo se pueden conectar con otras lagunas adquiriendo formas más complejas. El mismo dinamismo geomorfológico que permite el desarrollo de las distintas etapas, puede hacer que ocurra un proceso inverso como resultado de la erosión de costa. Es decir, si bien una laguna, al conectarse con otra por medio de una zanja de erosión, puede aumentar considerablemente el valor de  $D_L$ ; con el tiempo dicha zanja tiende a ensancharse, mediante la erosión de costa producida por el oleaje, haciendo que la nueva laguna vuelva a adquirir una forma subcircular o bien triangular. No obstante, la nueva laguna puede volver a conectarse adquiriendo una nueva forma e incrementando los valores de  $D_L$ .

Sin embargo, la idea que la morfología circular de las lagunas se encuentre asociada exclusivamente a los procesos que le dieron origen a las mismas, se ponen en duda basados en las dinámicas geomorfológicas de estos cuerpos de agua y a los procesos de redondeamiento previos a extinguirse el cuerpo de agua (Paira & Drago, 2006). En este sentido, las etapas de evolución pueden estar actuando en forma inversa y la forma circular no sería la morfología original, sino final.

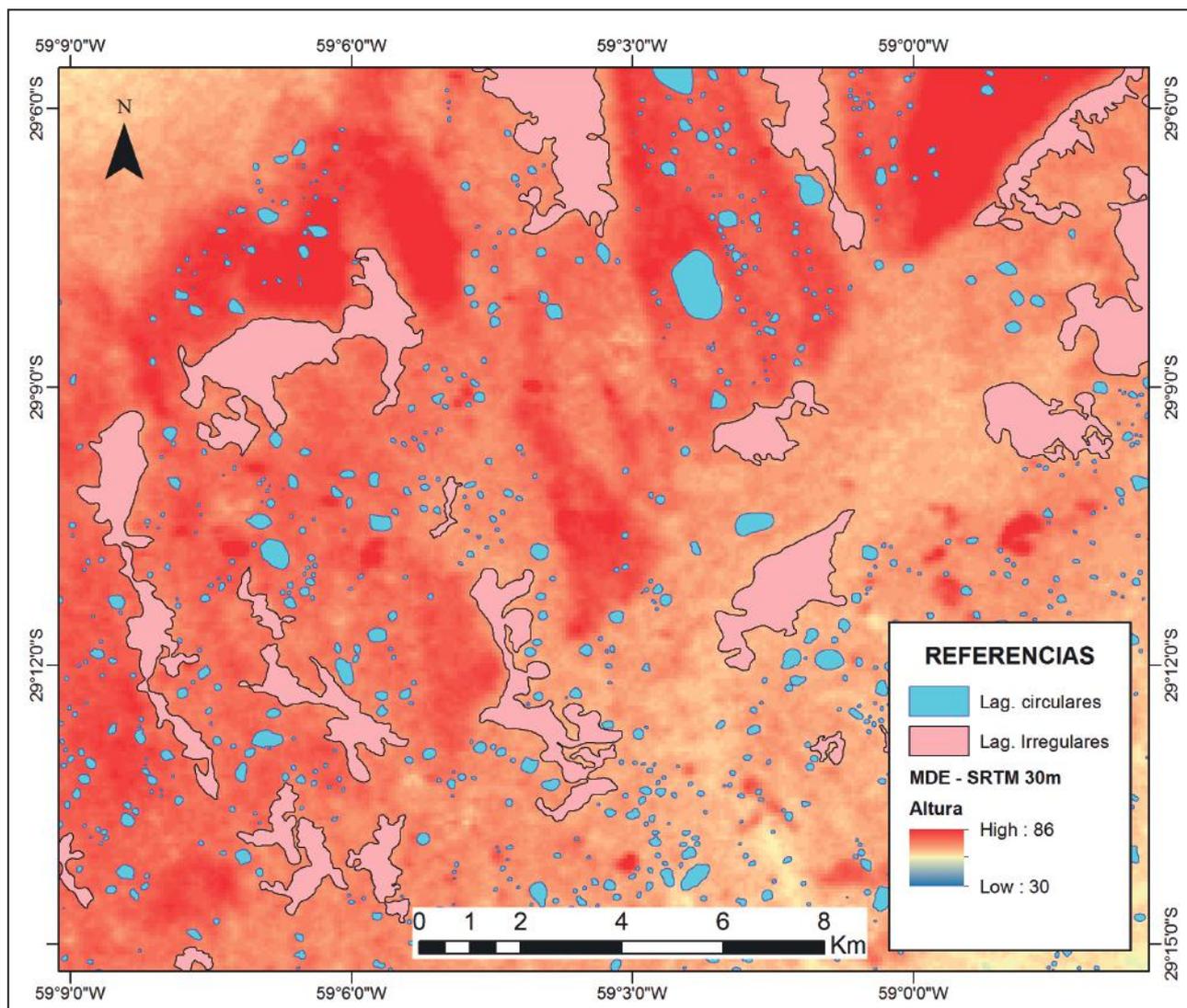


Figura 3 Superposición de un Modelo Digital de Elevación con lagunas circulares e irregulares (Goya, Corrientes).

Se pudo comprobar mediante comparaciones morfométricas entre años húmedos y secos, que hay un aumento en la proporción de formas triangulares y complejas en años húmedos como resultado de la interconexión entre lagunas, mientras que por el contrario, al retornar un período seco e ir segmentándose, hay un significativo aumento de lagunas circulares y subcirculares. En algunos casos, fue posible detectar un aumento en el número absoluto de cubetas en años secos, situación que deriva de la segmentación ya mencionada y de allí la importancia de conocer las respuestas morfométricas de las lagunas.

Sin embargo, los predomios de una determinada morfología no responden únicamente a las respuestas morfométricas en los períodos

húmedos y secos de la región, ya que para el análisis estadístico, se ha considerado la totalidad de la cubeta, sin discriminar si al momento de la captura de la imagen la laguna poseía agua o no. Es decir que de existir un patrón en cuanto a la distribución de las formas de estos cuerpos de agua, sería independiente a la presencia de un evento extremo de inundación o sequía.

Los resultados del ordenamiento PCA se representan en un diagrama de dispersión (Figura 4). La dirección del vector en el diagrama indica la dirección de la mayor variación de la variable que representa. La longitud del vector es proporcional a la magnitud del cambio en esa dirección, aquellas variables que poseen vectores más largos son las que están más estrechamente correlacionadas con

el ordenamiento y su relación con el ordenamiento de los departamentos es mayor. El orden en el cual los puntos que representan los departamentos se proyectan sobre el vector desde el extremo hacia su origen indica la posición de los mismos con relación a esa característica morfométrica. Los departamentos cuyas proyecciones perpendiculares se encuentran próximas al extremo del vector presentan una correlación positiva más fuerte con la variable proyectada. Aquellas en la posición opuesta están en correlación negativa. Las que se ubican en el centro del diagrama se ubican en valores medios. El primer eje de ordenación extraído por el PCA resume el 83,8% de la varianza explicada, refleja diferencias debidas al perímetro y separa a los departamentos con una disposición Este – Oeste, en función de las formas encontradas. El segundo eje aporta un 14,5% adicional de las variables restantes, pero fundamentalmente con el  $D_L$  y explican el 98,3% de la variación total. La correlación cofenética fue alta ( $r= 0,99$ ), indicando un buen ajuste entre la distancia euclideana entre los departamentos en el diagrama de dispersión y la distancia en el espacio multidimensional original.

Se pudo observar una agrupación teniendo en cuenta la ubicación de los departamentos de Este a Oeste.

En base a los resultados del PCA, se puede inferir que los grupos resultantes se encuentran vinculados a la mayor presencia de una determinada forma. En este sentido, Ituzaingó es el departamento que se encuentra sobre el vértice del mega abanico aluvial, pero no posee una lomada arenosa propiamente dicha, sino que más bien es un conjunto de lomadas muy erosionadas que paisajísticamente parecieran ser un conjunto de islas.

En el lado opuesto, encontramos al departamento Esquina, el cual se distingue del resto por presentar los valores medios de las formas simples, pero una importante presencia de formas complejas, lo cual resulta de interés, ya que por lo general de tener los valores medios de las formas simples, el departamento no posee formas irregulares.

La explicación del aumento de los valores de  $D_L$  hacia el vértice, se encontraría directamente relacionado con la topografía de las lomadas arenosas del mega abanico aluvial del río Paraná. Es decir, mayores elevaciones permiten ángulos de pendientes más pronunciados y en consecuencia, mayores probabilidades de conexiones entre lagunas y eventualmente aumentos de  $D_L$ . Por el contrario, superficies planas contribuyen a la segmentación de estos cuerpos de agua y con ello mayores probabilidades de encontrar formas más redondeadas (Figura 6).

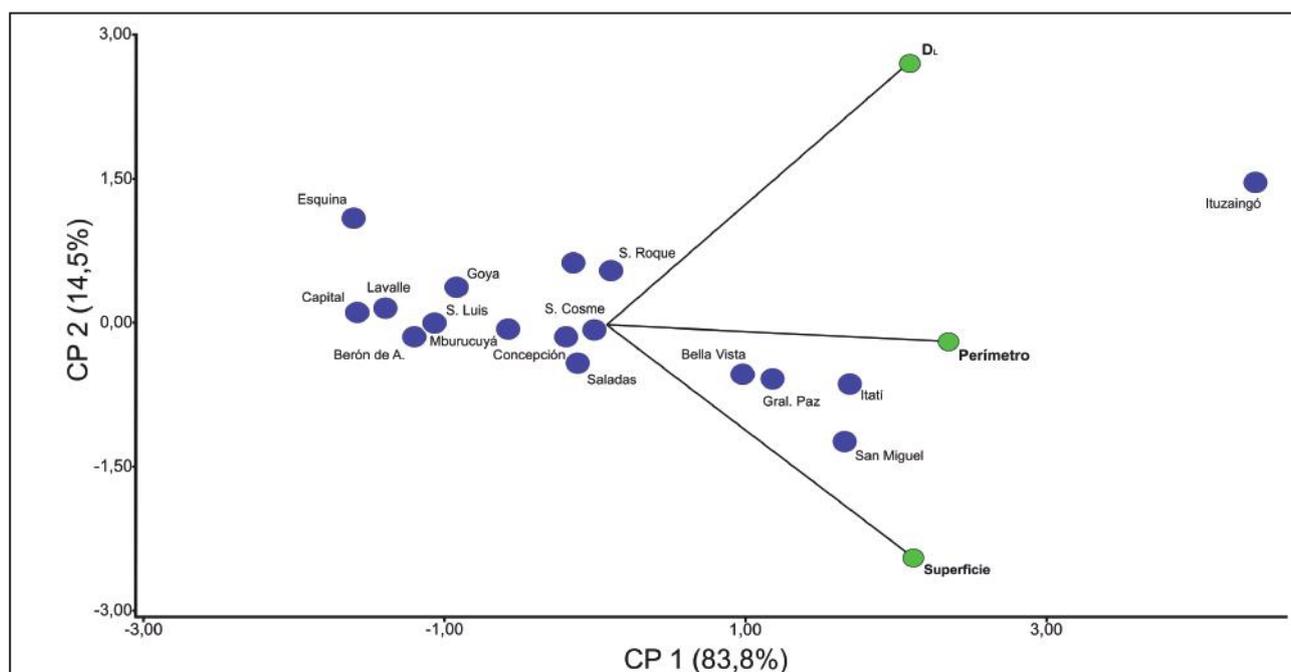


Figura 4 Análisis de Componentes Principales basado en las variables morfométricas de las lagunas de lomadas arenosas de los departamentos de la Provincia de Corrientes. Los símbolos representan los departamentos y los vectores las características morfométricas de las lagunas.

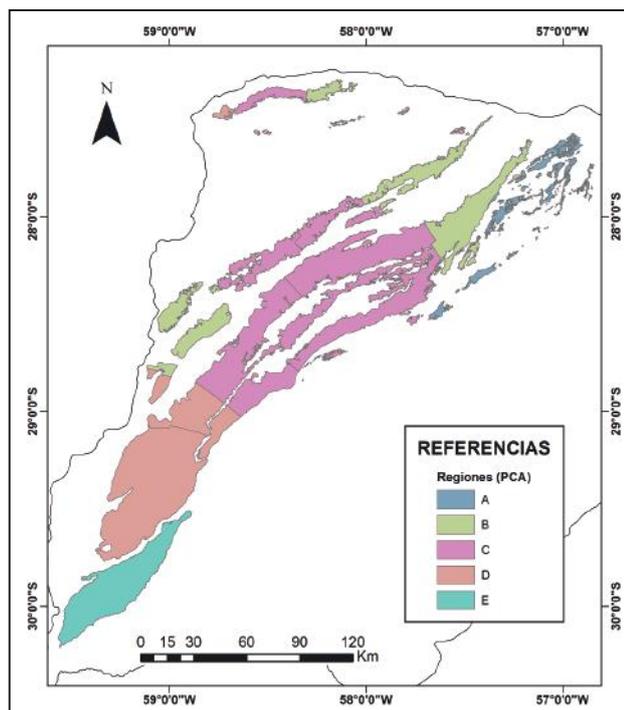


Figura 5 Regiones de las lomadas arenosas resultantes del PCA basado en las variables morfométricas de las lagunas.

Las regiones obtenidas del análisis de componentes principales de la morfometría de las lagunas por departamento, se encuentra directamente relacionada con la topografía de las lomadas arenosas. Esta situación complementaría lo sugerido en Contreras (2011) donde, a través del análisis espacial del terreno y la generación de modelos de escurrimientos empleando herramientas Sistemas de Información Geográfica, se ha destacado que la pendiente tiene un papel significativo en las etapas de evolución de las lagunas, principalmente en la interconexión y en sus alineamientos.

Por este motivo, una disminución de las alturas de las lomadas arenosas, desde el vértice del abanico aluvial hacia las áreas más distales, se verá reflejado en una disminución de la pendiente en la misma dirección y en consecuencia disminuirá la interconexión entre lagunas, y a partir de allí, el aumento relativo de menores valores de  $D_L$  cuanto más lejos del vértice se encuentre el cuerpo de agua.

### 3 Conclusiones

El paisaje de lomadas arenosas correspondiente al mega abanico aluvial del río Paraná en la provincia

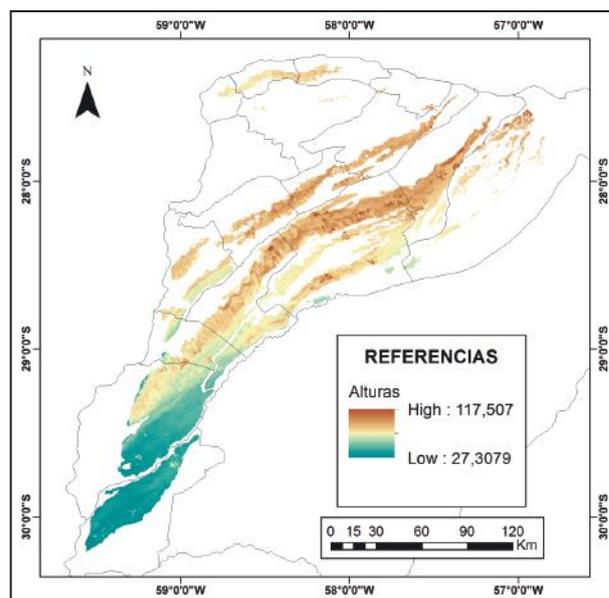


Figura 6 Modelo Digital de Elevaciones de las lomadas arenosas (Corrientes, Argentina).

de Corrientes (Argentina), se caracteriza por la gran cantidad de cuerpos de agua que posee, alcanzando una totalidad de 38926 lagunas. Esto demuestra que constituyen el elemento del paisaje más significativo de la región no solo por su abundancia sino también por sus patrones de distribución.

Los conocimientos sobre sus valores morfométricos han posibilitado agruparlas en función de su morfología, clasificándolas en formas simples y complejas en relación a sus valores de desarrollo de la línea de costa; determinando que existe un predominio absoluto de las primeras, principalmente de las formas circulares.

El análisis estadístico permitió establecer cinco regiones dentro del paisaje de lomadas arenosas en función de la morfometría de las lagunas cuya distribución varía de E – O. Esta clasificación o regionalización surge en función del predominio de determinadas formas, aumentando las formas simples hacia el Oeste, en dirección la base del abanico aluvial del río Paraná. La topografía de las lomadas arenosas sería la principal variable que incide en esta configuración, ya que mayores alturas y gradientes topográficos hacia el vértice del abanico aluvial aumentan la probabilidad de interconectar a dos o más las lagunas; mientras que relieves más bajos y planos hacia el Oeste, conllevan a que las lagunas se segmenten y se vayan aislando con el tiempo.

El valor de los estudios geomorfológicos se centra en el conocimiento de las características y la dinámica de un área dada, ya que resultan de fundamental importancia para determinar los posibles impactos, tanto actuales como potenciales, que pueden generarse por la acción antrópica y/o por el mismo dinamismo natural.

#### 4 Agradecimientos

Esta publicación fue financiada parcialmente por los Proyectos “Evaluación de la diversidad íctica en la planicie del río Paraná Medio”. SGCyT – UNNE, B009-2014 (2015 – 2018). Res. 155/15 C.S. y “Evolución y fitogeografía de especies seleccionadas del nordeste argentino: una contribución al conocimiento de la biodiversidad y la conservación de la flora regional”. PICT – 2012 – 2018. Los autores agradecen a Edwin Harvey por donar sus fotografías para realizar esta investigación.

#### 5 Referencias

Castellanos A. 1965. *Estudio fisiográfico de la provincia de Corrientes*. Santa Fe, Argentina. 122 p.

Castillo Jurado, M. 1992. *Morfometría de lagos, una aplicación a los lagos del pirineo*. Programa de posgraduación en Biología, Universidad de Barcelona, Disertación de Doctorado, 286 p.

Contreras, F.I. 2011. Evolución de las lagunas en función de la pendiente, Lomada Norte. Provincia de Corrientes, Argentina. *Terra Nueva Etapa*, 42:145-163.

Contreras F.I.; Ojeda E.A. & Contreras, S. A. 2014. Aplicación de la Línea de Costa en el estudio morfométrico de las lagunas de las lomadas arenosas de Corrientes, Argentina. *Contribuciones Científicas GAEA*, 26:65-78.

De Lucio, J.; Atauri, J.; Sastre, P. & Martínez, C. 2003. Conectividad y redes de espacios naturales protegidos: del modelo teórico a la visión práctica de la gestión. In: GARCÍA MORA, M. (Coord.). *Conectividad ambiental: las áreas protegidas en la cuenca mediterránea*. Junta de Andalucía, p. 29-54.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M. & Robledo, C. 2014. *InfoStat versión 2014*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de

Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.

Gurrutxaga San Vicente, M. & Lozano Valencia, P. 2008. Ecología del paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial. *Estudios Geográficos*, 69:519-543.

Hutchinson, G. E. 1967. *A treatise on limnology. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton*. New York, USA. 1115 p.

Iriondo, M. & Paira, A. 2007. Physical Geography of the Basin. In: IRIONDO, M.; PAGGI, J. & PARMA, M. (eds.). *The Middle Paraná River – Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer-Verlag, p. 7 – 31

Matteucci, S. 1998. La cuantificación de la estructura del paisaje. In: MATTEUCCI, S. & BUZAI, G. (Eds.). *Sistemas ambientales complejos: Herramientas de análisis espacial*. Eudeba, p. 271-291.

Meybeck, M. 1995. Global distribution of lakes. In: LERMAN, A.; IMBODEN, D. & GAT, J. (Eds.). *Physics and chemistry of lakes*. Springer-Verlag, p. 1–35.

Moizo Marrubio, P. 2004. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje. *GeoFocus*, 4:1-24.

Montoya Moreno, Y. 2008. “Caracterización morfométrica de un sistema fluvioacustre tropical, Antioquia, Colombia”. *Caldasia*, 30(2): 413-420.

Morton, S. 2004. Moluscos fósiles de agua dulce de la Formación Ituzaingó, Plioceno de Corrientes, Argentina. *Miscelánea*, 12:45-48.

Orfeo, O. & Neiff, J. 2008. Esteros del Iberá: un enorme laboratorio a cielo abierto. *Anales del Servicio Geológico Minero Argentino*, 46:415-425.

Paira, A. & Drago, E. 2006. Genetical, morphological and evolutionary relationships of the floodplain lakes in the Middle Paraná River hydrosystem. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 145:207-228.

Romero Vargas, M. 2005. *Cambios en la estructura del paisaje del Alt Empordà en el periodo 1957- 2001*, Programa de Pos-graduación en Medio Ambiente, Universidad de Girona, Disertación de Doctorado, 341 p.

Timms, B.V. 1992. *Lake Geomorphology*. Sydney, Australia. 180 p.

Turner, M. & Gardner, R. 1991. An Introduction. In: TURNER, M. & GARDNER, R. (eds.). *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer - Verlag, p. 3-14.

Turner, M.; Gardner, R. & O’neill, R. 2001. *Landscape Ecology in theory and practice*. New York, USA. 406 p.

Vila, J.; Varga, D.; Llausàs, A. & Ribas, A. 2006. Conceptos y métodos fundamentales en Ecología del Paisaje (Landscape Ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d’Anàlisi Geogràfica*. 48:151-166.

Zonneveld, I. 1995. *Land Ecology*. Ámsterdam, Holanda. 199 p.