

MORFOMETRÍA DE LAS LAGUNAS DE LA LOMADA NORTE. CORRIENTES, ARGENTINA

FÉLIX IGNACIO CONTRERAS - figcontreras@hotmail.com
NORMA CRISTINA MEICHTRY - norma.meichtry@gmail.com
Instituto de Investigaciones Geohistóricas (CONICET/UNNE)
Resistencia, Chaco (Argentina)

Recibido 05/05/13, Aceptado 21/06/13

Resumen	<p>Este trabajo se refiere a las lagunas ubicadas sobre la Lomada Norte de la provincia de Corrientes, Argentina. La observación de imágenes satelitales anticipa la clasificación morfológica de las mismas, como lagunas circulares. Dentro de los parámetros morfométricos el <i>desarrollo de la línea de costa</i> (D_L), mide el grado de irregularidad de la costa; en otras palabras, es una medida que permite conocer cuán circular es una laguna, considerando que el valor de 1 corresponde a un círculo y a medida que se aleja de dicho valor la forma es más irregular. En función de lo expuesto, el objetivo de este trabajo es el de clasificar a las lagunas de la Lomada Norte según sus valores de D_L y para ello se han digitalizado un total de 925 lagunas correspondientes a la totalidad de cuerpos de agua lénticos existentes sobre la Lomada Norte. Corrientes, Argentina.</p> <p>Palabras claves: evolución del paisaje, línea de costa, lagunas, geomorfología, Corrientes</p>
----------------	---

Abstract	<p style="text-align: center;">MORPHOMETRIC ANALYSIS OF LOMADA NORTE SHALLOW LAKES. CORRIENTES, ARGENTINA</p> <p>The following study concerns to the lagoons located on the Lomada Norte of Corrientes Province, Argentina. Observing satellite images we can anticipate the morphological classification of the shallow lakes, as circular ponds. Within</p> <p style="text-align: right;">✉</p>
-----------------	--

morphometric parameters, the shoreline development (D_L), measures the irregularity degree of the coast. In other words, it is a measure that lets us to know how circular is a lagoon, considering that the value 1 corresponds to a perfect circle and as you move away from that value, the shape is more and more irregular. Considering the previous statement, the aim of this paper is to classify the shallow lakes of Lomada Norte according to their D_L values. A total number of 925 lakes have been digitized; they are all the existing lentic water bodies on the Lomada Norte, Corrientes, Argentina.

Keywords: *landscape evolution, shoreline development, geomorphology, lagoons, Corrientes*



Introducción

La denominada región de Lomas Arenosas corresponde al abanico aluvial o “mega abanico” formado por el sistema del río Paraná que cubre el NW y parte del SW de la provincia de Corrientes (Argentina), así como parte del Paraguay. Presenta una distancia lineal de alrededor de 260 Km de longitud en sentido E-W y 500 km de ancho (N-S) y se mantuvo estable durante todo el Cuaternario Superior. Por otra parte, el río Paraná fue creando cursos relativamente estables, los que finalmente fueron abandonados por la corriente principal y se convirtieron en pantanos. Es así que extensos depósitos fluviales, producidos por salidas de derrame durante las fases climáticas secas en el Cuaternario superior, se intercalaron entre los cursos abandonados (Iriondo y Paira, 2007).

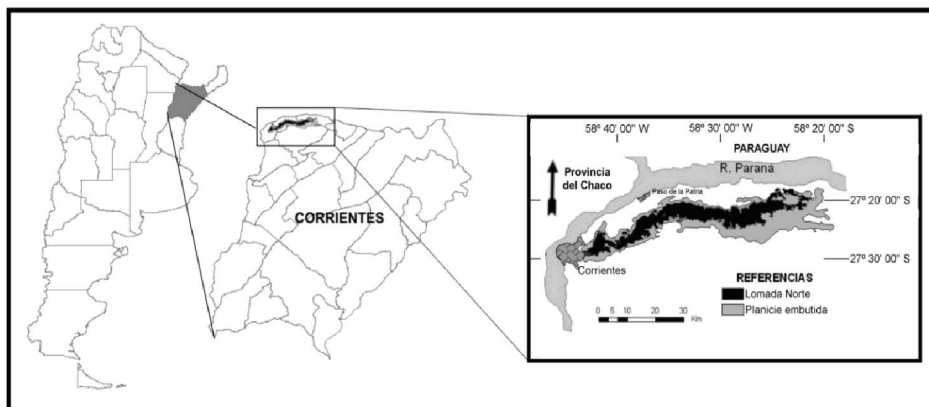
Como describe Frenguelli (1924), la región se aprecia como una llanura ondulada cuya altura media se puede calcular, aproximadamente, en 60 m sobre el nivel del mar y en 15 a 20 m sobre el nivel del río Paraná. Las ondulaciones, de pendientes muy suaves, de dorso ancho y chato, forman, en líneas generales, largos cordones cuasi paralelos entre sí y con rumbo general aproximado de SW

a NE. Las elevaciones están separadas por depresiones longitudinales, de ancho variable, pero siempre poco pronunciadas y de fondo plano. Depresiones menores, de dirección transversal, a menudo subdividen a las lomadas en lomas bajas que raras veces se levantan sobre el nivel general del territorio. Por otra parte, alrededor de las lomadas, se distingue claramente la planicie subcónica circundante, por sobre elevarse unos 10 a 15 m (Carnevalli, 1994).

En la provincia de Corrientes, la lomada situada en su extremo septentrional, en los departamentos Capital, San Cosme e Itatí y que acompaña al valle del río Paraná, es conocida como Lomada Norte (Fig. 1).

Las lomadas albergan numerosas lagunas que, según Popolizio (1984), se habrían originado como resultado de la disolución de los elementos del suelo y/o el arrastre de coloides y el consiguiente asentamiento de sedimentos, de forma semejante a las producidas en áreas kársticas. Según este autor, las lagunas de la Lomada Norte corresponderían, en una etapa inicial, a formas de pseudodolinas, que son depresiones aisladas de forma circular, isodiamétricas. En períodos de abundantes precipitaciones puede aumentar el volumen de agua en la cubeta e interconectar numerosas lagunas entre sí, dando lugar a nuevas formas. Sin embargo, las lagunas también podrían ser cubetas de deflación, como las observadas en la llanura Chacopampeana, que se producirían por efecto de remolinos verticales que se forman en ausencia de viento. Dichos remolinos se producen en las horas más cálidas de los días de verano en los ambientes semiáridos y tienden a estacionarse en lugares libres de vegetación, debido a que allí se producen corrientes de aire ascendentes (Iriondo 2007).

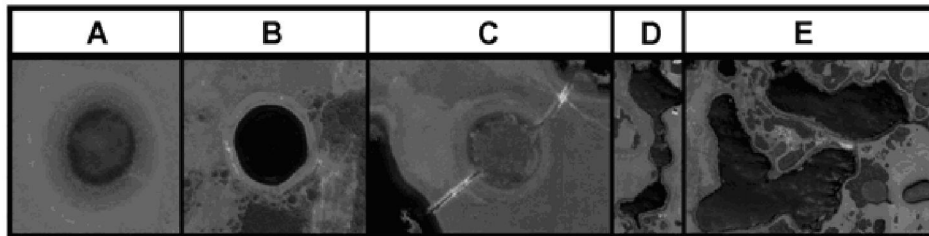
Fig. 1: Ubicación de la Lomada Norte. Corrientes, Argentina



Contreras (2011) clasificó a las lagunas de la Lomada Norte en seis tipos (pequeñas cubetas de deflación, lagunas medianas individuales, lagunas medianas interconectadas por pequeños senderos, lagunas medianas interconectadas por canales, grandes lagunas y lagunas en su etapa final). En dicho trabajo también se sugiere que las diferencias en la capacidad de retención de agua y en el grado de interconexión entre los distintos tipos de cuerpos de agua hallados en la Lomada Norte de la provincia de Corrientes, representarían distintos estados de la evolución de las lagunas, las que podrían pasar de ser pequeñas depresiones circulares a grandes lagunas de forma irregular. La pendiente del relieve sería el principal factor en este proceso evolutivo, permitiendo que las lagunas se conecten siguiendo una línea preferencial de escurrimiento. En épocas de lluvias intensas, los granos de arena serían arrastrados a lo largo de la pendiente, transformando dichas líneas preferenciales en canales que unen los cuerpos de agua y que si continúan ensanchándose, determinarían la formación de una laguna mayor. En tiempos de sequía, los canales podrían secarse y ser rellenados, cerrando la vía de escurrimiento temporalmente. Teniendo en cuenta este criterio, la evolución de las lagunas ocurriría en, al menos, cinco etapas (formación de la cubeta, comienzo de formación del canal, ampliación del canal, formación de una gran

laguna y unión de la laguna con la planicie). La actividad antrópica contribuiría y hasta potenciaría este proceso evolutivo. (Fig. 2).

Fig. 2. Etapas de evolución de las lagunas



A. Pequeñas cubetas de deflación, B. Lagunas medianas individuales, C. Lagunas medianas interconectadas por pequeños arroyos, D. Lagunas medianas interconectadas por canales y E. Grandes lagunas.

Fuente: Contreras (2011).

La geomorfología de un cuerpo de agua, como ser un lago o una laguna, determina la naturaleza de su drenaje, la entrada de nutrientes en el lago y el volumen de agua que penetra en él en relación con la tasa de renovación, que luego se manifiestan en la distribución de los gases disueltos, nutrientes y organismos. En este sentido, las depresiones someras, cuyos sedimentos presentan un mayor porcentaje de contacto con el agua, generalmente alcanzan productividades intermedias o altas. (Wetzel, 1981).

“Los lagos se diferencian además en profundos y someros (lagunas) en función de que exista o no estratificación térmica. Aunque se acepta generalmente el límite de 3 m de profundidad media para distinguir unos de otros (Moss *et al.*, 1994), las condiciones climatológicas, morfológicas y el viento pueden modificar ligeramente dicho límite (Padisak y Reynolds, 2003)”. (Bécares *et al.* 2004).

En relación con lo expuesto, se señala que los estudios morfológicos son necesarios dado que la morfología condiciona los parámetros fisicoquímicos y

biológicos del agua de la cubeta. Sin embargo, la morfometría de un lago está relacionada principalmente con su origen e historia y con las características geológicas de su cubeta y de su cuenca (Vega *et al.* 2005).

Parámetros morfométricos

“La caracterización morfométrica de un cuerpo de agua idealmente 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. La información morfométrica es necesaria para investigar sobre la erosión, cargas de nutrientes, balances de masa, contenido calórico, estabilidad térmica, comunidades y productividad biológica, entre otras” (Montoya Moreno, 2008: 414).

Al hablar de las características y clasificación de lagos, Timms (1992:2), señala que:

“...los lagos no son fáciles de definir con exactitud. Generalmente no es difícil distinguir entre los sistemas con aguas en movimiento (lóticos) y aguas estancadas (lénticas), pero surgen problemas para distinguir entre diferentes profundidades, tamaños y grado de permanencia de aguas estancadas. En la experiencia cotidiana, algunas aguas son obviamente “lagos”, otros son “estanques”, y algunos son “pantanos”, “marismas”, etc. ¿por dónde trazar el límite entre cada categoría?”

En efecto, las lagunas ubicadas sobre las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes pueden ser clasificadas, en primera instancia, por su permanencia, presencia de vegetación acuática, por las características fisicoquímicas de sus aguas, tamaño y morfología; sin embargo, el análisis se vuelve complejo cuando

se pretende clasificarlas según su morfometría. Considerando que estos cuerpos de agua poseen un mismo origen, que las fluctuaciones del nivel de agua dependen exclusivamente de las precipitaciones, independientemente de las fluctuaciones del río Paraná y que dada su proximidad, se encuentran expuestas a procesos de erosión y sedimentación semejantes, se puede comprender que los resultados de los parámetros medidos no manifiesten cortes marcados, sino que por el contrario, los límites sean más bien difusos.

Dentro de las distintas medidas morfométricas se encuentra el índice de *desarrollo de la línea de costa* (D_L) que mide el grado de irregularidad de la costa. Esencialmente, relaciona la longitud de la costa o perímetro, con la circunferencia de un círculo que tenga la misma superficie que la laguna. Lagos perfectamente circulares registran un valor de D_L igual a 1 aún cuando, en promedio, los lagos tienen valores entre 1.5 y 2.5. Los lagos ramificados presentan valores entre 3 y 5 y raras ocasiones se alcanzan valores superiores.

Con el fin de ajustar la descripción, Timms (1992:18) propone la siguiente clasificación de formas:

Circulares: Presentan esta forma la mayoría de los lagos en cráteres volcánicos, dolinas y pequeñas cuencas de deflación. Los valores para el D_L son típicamente entre 1 y 1.25. El lago más redondo en Australia es el Lago Mumblin, un lago de cráter en el oeste de Victoria ($D_L = 1.004$). Algunos lagos de dunas en la Isla Fraser son más circulares, al igual que muchas cubetas de deflación en el Paroo al NW de Nueva Gales del Sur, Australia.

Subcirculares: Se trata de una forma menos perfecta que la forma circular, y es mostrada por muchos lagos de circos glaciares y por imperfectos cráteres volcánicos, dolinas y cuencas de deflación. Se menciona que el lago Azul y el lago Cootapatamba, dos lagos de circo cerca del monte Kosciusko, tienen desarrollos costeros de 1.15 y 1.3, respectivamente.

Elípticos: Con origen en deflación eólica, los ejemplos más perfectos se encuentran en las dunas parabólicas costeras. El índice de desarrollo de línea de costa es probablemente sólo un poco mayor que en las dos primeras categorías men-

cionadas, pero no hay datos disponibles.

Subrectangulares: Esta forma es exhibida por los lagos en fosas tectónicas y los lagos glaciares. En algunos de estos últimos el desarrollo puede ser complejo debido a la intersección de valles.

Dendríticos: Estos lagos tienen muchos brazos ramificados y surgen de la inundación del valle. Como ejemplos puede citarse el lago Waikaremoana en Nueva Zelanda y la mayoría de los embalses. Presentan $D_L > 3$.

Triangulares: Estos también derivan de la inundación del terreno, pero la zona es un valle inundado no confinado. La barra puede ser una duna de arena, un dique, o por acción del hombre. El índice D_L se sitúa entre 1.5 y 2.

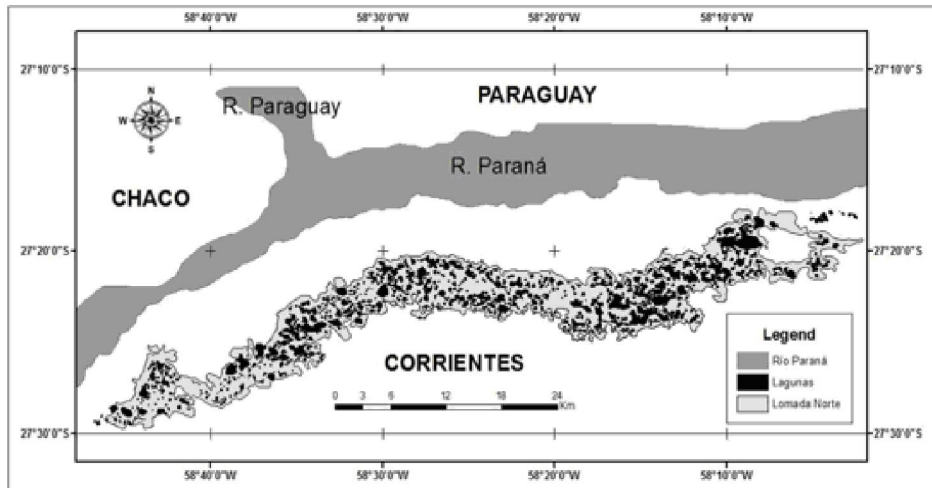
Irregulares: Corresponde a lagos de cuencas muy irregulares y usualmente se producen cuando hay fusión de cuencas y áreas glaciares erosionadas.

Tomando en consideración la anterior clasificación de formas propuesta por Timms y lo expuesto acerca del posible origen de las lagunas de la Lomada Norte, se espera, a modo de hipótesis, que los valores del índice D_L , no deberían ser muy elevados en dichas lagunas, dado que se observa en las imágenes satelitales que se caracterizan por ser circulares y que incluso al conectarse, no pierden su forma redondeada.

Sobre la base de estos antecedentes, en este trabajo se calculan los valores de D_L de cada una de las lagunas de la Lomada Norte (Fig.3), para determinar cuán circulares son, como así también para respaldar, cuantitativamente, los procesos de modificación del paisaje de lomadas.

Por otra parte, este estudio cuantitativo es importante como base en estudios de larga data, ya que los resultados obtenidos permitirán hacer un seguimiento morfométrico temporal, por ejemplo, entre distintos ciclos climáticos.

Fig. 3: Distribución de las lagunas en la Lomada Norte



Materiales y métodos

Mediante el software Google Earth, se ha digitalizado un total de 925 lagunas correspondientes a la totalidad de cuerpos de agua lénticos existentes sobre la Lomada Norte, Corrientes. Las imágenes corresponden a la etapa 2009 y 2012; dependiendo de la disponibilidad de las mismas para cada espacio del área en estudio.

Es importante destacar la existencia de un prolongado período seco hasta fines del 2009, con lo cual las imágenes correspondientes a ese año muestran lagunas con muy poca agua y, en algunos casos, completamente secas. Por tal motivo, a la hora de digitalizar los cuerpos de agua y para poder comparar las diferentes formas, al margen de que se encuentren en períodos secos o húmedos, se ha tenido en cuenta el perímetro máximo del cada reservorio, claramente perceptible en las imágenes.

Posteriormente, por medio de ArcGis 10 se han calculado el perímetro, la superficie y posteriormente el D_L de cada una de las lagunas, aplicando la siguien-

te fórmula:

$$P/2 \cdot \sqrt{A \cdot \pi}$$

P= Perímetro A= Área

Con los resultados obtenidos de D_L se generaron gráficos en Excel. Los mismos han permitido comparar la clasificación propuesta por Timms (1992) con las etapas de evolución propuestas por Contreras (2011). En este punto, se propone una nueva clasificación que se adapta a la situación observada sobre la lomada.

Por último, se comparan los resultados cuantitativos con los cualitativos generados a partir de la observación de imágenes satelitales.

Resultados

El cálculo de superficie demuestra que la mayoría de las lagunas de la Lomada Norte (Fig. 4), no tiene grandes dimensiones, considerando que la media es de 82.068 m² y la mediana es de 15.648 m². Por otra parte, el valor mínimo calculado es de 130 m². De hecho, el 83% de las lagunas se encontraría por debajo del valor medio y el 20.6% no supera los 5.000 m² de superficie. Esto permite hablar de un predominio de pequeñas lagunas. Por el contrario, sólo se observa un caso excepcional en cuanto al tamaño de las mismas, correspondiente a una laguna con alto grado de conectividad y cuyo valor de superficie es de 4.336.516 m².

En cuanto al perímetro (Fig. 5), los resultados obtenidos están relacionados con los mencionados anteriormente. El valor medio es de 913.1 m, mientras que el valor de la mediana es de 470 m. También cabe destacar que el 78.1% de las lagunas se encuentra por debajo de la media, por lo que se confirma la idea anterior.

Respecto de los valores de D_L (Fig. 6), la media es de 1.14 (el 71.7% es inferior al promedio), mientras que la mediana es de 1,05. Por lo tanto, valiéndonos de la clasificación de formas propuestas por Timms (1992) en función de los valores de D_L , se destacan cuantitativamente las formas circulares y subcirculares. Incluso el valor máximo de 2,9, no supera el valor de 3 para ser considerada como

dendrítica, con lo cual sería reconocida como laguna irregular, aunque su valor alto (en comparación con las demás) es debido a su elevado grado de conectividad entre lagunas (Fig. 7).

Fig. 4: Superficie (m²)

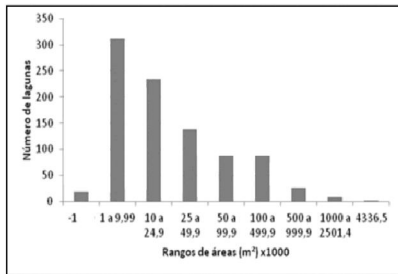


Fig. 5: Perímetro (m)

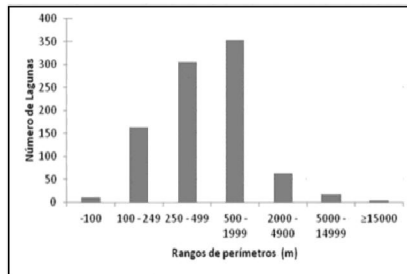


Fig. 6: Desarrollo de línea de costa (D_L)

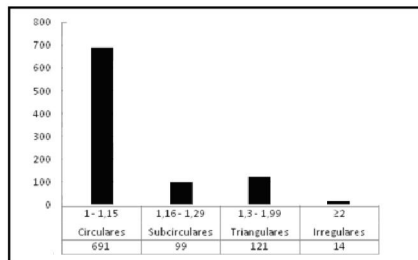
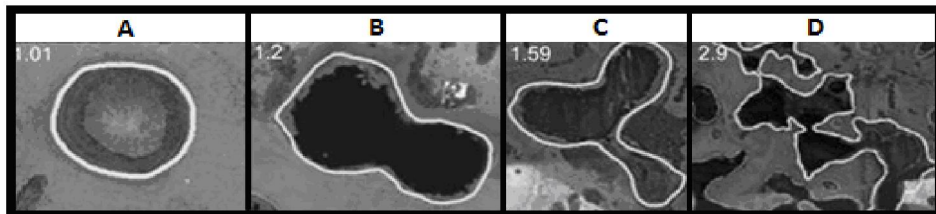


Fig. 7: Principales resultados de D_L



Discusión

Al clasificar a las lagunas según su valor de índice D_L se han presentado ciertas dificultades al momento de establecer los límites de cada rango, ya que la morfología de las mismas, no muestra cambios radicales o cortes abruptos sino que, por el contrario, se presentan diversos modos de transición entre las principales formas propuestas por Timms (1992). En este sentido, por ejemplo, una laguna con un valor correspondiente al de las formas subcirculares, presenta formas relativamente similares a otra con valores que superan el límite de 1,3 correspondiente a las lagunas triangulares. La diferencia entre ambos valores está dado por cuán ancha es la unión entre ambas lagunas, en relación con el perímetro (Fig. 7). En otras palabras, cuanto más ancha sea la unión, los valores de D_L se aproximarán más a los valores de lagunas subcirculares, ya que aumenta la superficie, mientras que por el contrario, cuanto menor sea el ancho de la unión, se incrementa el valor del perímetro, aumentando con él el valor de D_L , tomando formas triangulares.

Considerando las etapas de evolución de Contreras (2011) (Fig. 2) y comparándolas con los resultados del D_L , en donde las pequeñas lagunas circulares poseen un valor de 1.01, mientras que las grandes lagunas (de formas complejas) poseen valores superiores a 2, se podría inferir que, cuanto mayor es el valor del D_L , más “avanzada” se encuentra la laguna, en función de la etapa de su evolución. Del mismo modo, si se lo compara con la clasificación de Timms (1992), las formas circulares y elípticas corresponderían a las lagunas en las primeras etapas de formación, las subcirculares comenzarían a mostrar signos de conexión en distintos niveles y, a partir de las triangulares, ya estaríamos en presencia de grandes lagunas. En un nivel siguiente, estarían las lagunas complejas, que pueden responder a la conexión entre distintas lagunas, en distintas etapas de evolución.

Por otra parte, es importante destacar que lo anterior no responde a un proceso continuo unidireccional. Siguiendo la evolución propuesta por Contreras (2011), donde las lagunas surgen como cubetas de deflación que se conectan a

otras en función de la pendiente por medio de zanjas de erosión, y que estas últimas son ensanchadas por la erosión de costa producida por el oleaje generándose una laguna más grande, los valores morfométricos pueden variar considerablemente. Por ejemplo, una vez conectada la laguna, cuando comienza a ensancharse la zanja de erosión, la superficie de la laguna aumenta y en consecuencia el valor de D_L disminuye, como así también varía la forma de la laguna, que puede pasar de una forma triangular, a una más bien subcircular o rectangular o inclusive de una irregular a una triangular, según sea el caso. Por lo tanto, la evolución morfométrica de una laguna no se limita exclusivamente al aumento progresivo de los valores de D_L , sino por el contrario, dichos valores pueden aumentar o disminuir como respuesta a la sucesión de períodos secos y húmedos.

En definitiva, los procesos descriptos serían “ciclos” en la dinámica geomorfológica propia de las lagunas en lomadas arenosas con las características de la Lomada Norte en la provincia de Corrientes.

Conclusiones

Si bien con la observación de imágenes satelitales se podrían clasificar a las lagunas de la Lomada Norte como pequeñas lagunas circulares, los resultados obtenidos permitieron respaldar dicha percepción cuantitativamente, por la reducida superficie medida de los cuerpos de agua y por medio de los bajos valores de D_L , con amplio predominio de las lagunas circulares según la clasificación propuesta por Timms (1992).

En función de lo anterior, podría establecerse una relación entre los valores de D_L con las etapas de evolución de las lagunas, ya que en origen son cubetas de deflación circulares (con valores muy próximos a 1) y con el tiempo, al conectarse con otras lagunas, adquieren formas complejas (valores superiores a 2). Sin embargo, el mismo dinamismo geomorfológico que permite el desarrollo de las distintas etapas, puede hacer que la idea anterior actúe de modo inverso por medio de la erosión de costa producida por el oleaje. Es decir, si bien una laguna, al conectarse con otra por medio de una zanja de erosión, puede aumentar conside-

rablemente el valor de D_L ; con el tiempo dicha zanja tiende a ensancharse (por medio del proceso de erosión mencionado) haciendo que esa “nueva laguna” vuelva a adquirir una forma subcircular, rectangular o bien triangular. No obstante, la “nueva” laguna puede volver a conectarse adquiriendo una nueva forma e incrementando los valores de D_L .

En síntesis, si bien en principio el aumento de los valores de D_L presenta relación con las etapas de evolución de las lagunas, se pudo verificar que dichos valores presentan una relación directa con el grado de interconexión con otras lagunas. En otras palabras, cuanto más interconectada se encuentre una laguna con otra u otras, mayores serán los valores de D_L .

En definitiva, esas variaciones tanto morfológicas como morfométricas, son las transiciones propias de la dinámica geomorfológica de la región, lo que da la pauta de que se trata de un área con procesos activos y susceptible a cambios en cortos períodos de tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bécares, E. *et al.* (2004). "Funcionamiento de los lagos someros mediterráneos". *Ecosistemas*. Vol. 13 (2): 2-12.
- Carnevali, R. (1994). *Fitogeografía de la Provincia de Corrientes*. Asunción: Litocolor.
- Contreras, F. I. (2011). "Evolución de las lagunas en función de la pendiente, Lomada Norte. Provincia de Corrientes, Argentina". *Terra Nueva Etapa*. Vol. XXVII, N° 42: 145-163.
- Frenguelli, J. (1924). *Apuntes geomorfológicos sobre el interior de la provincia de Corrientes*. Buenos Aires: Casa Coni, pp. 1-41.
- Iriondo, M. (2007). *Introducción a la Geología*. 3° edición. Córdoba: Ed. Brujas.
- Iriondo, M. y Paira, A. (2007). "Physical Geography of the Basin", en Iriondo, M. H., Paggi, J. C. y Parma, M. J. (eds.). *Geomorphology. The Middle Paraná River - Limnology of a Subtropical Wetland*. Berlin, Springer, pp 7-31.
- Iriondo, M. (2007). "Geomorphology". In Iriondo, M. H., Paggi, J. C. y Parma, M. J. (eds.). *The Middle Paraná River - Limnology of a Subtropical Wetland*. Berlin, Springer, pp 33-52.
- Montoya Moreno, Y. (2008). "Caracterización morfométrica de un sistema fluviolacustre tropical, Antioquia, Colombia". *Caldasia* 30: 413-420.
- Papolizio, E. (1984). "Importancia de la fotointerpretación geomorfológica en las obras de ingeniería de las llanuras". *Geociencias XII*. Centro de Geociencias Aplicadas. UNNE. Resistencia, Chaco, pp. 26-28.
- Vega, J., De Hoyos C., Adasorio, J., De Miguel, J., y Fraile, H. (2005). "Nuevos datos morfométricos para el Lago de Sanabria". *Limnética* 24: 115-122.
- Timms, B. (1992). *Lake geomorphology*. Adelaide: Gleneagles Publishing.
- Wetzel, R. (1981). *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega.