

# APLICACIÓN DEL DESARROLLO DE LA LÍNEA DE COSTA EN EL ESTUDIO MORFOMÉTRICO DE LAS LAGUNAS DE LAS LOMADAS ARENOSAS, CORRIENTES.

Félix Ignacio Contreras  
Instituto de Investigaciones Geohistóricas (CONICET – UNNE)  
figcontreras@hotmail.com

**Palabras Clave:** Geomorfología cuantitativa, Línea de costa, Evolución del paisaje.

## Introducción

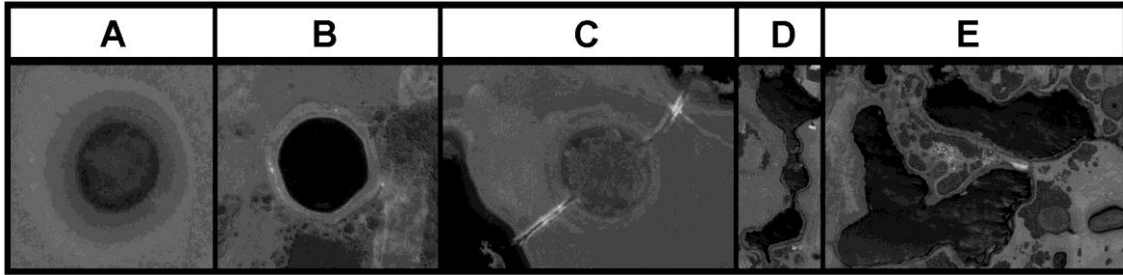
La denominada región de Lomadas Arenosas corresponde al abanico aluvial o “mega abanico” formado por el sistema del río Paraná, que cubre el NW y parte del SW de la provincia de Corrientes (Argentina) así como parte del Paraguay. Presenta una distancia lineal de alrededor de 260 Km de longitud en sentido N-S y 500 km de ancho 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 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 sobreelevarse unos 10 a 15 m (Carnevali, 1994).

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 chaco – pampeana, las 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).

Posteriormente, Contreras (2011) clasificó 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 podrían ser 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.

**Figura 1.- Clasificación de los cuerpos de agua según su etapa de evolución**



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).

Debido al dinamismo mencionado, los estudios morfológicos son necesarios, ya que la morfología condiciona los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua de la cubeta. No obstante, la morfometría de un lago está relacionada principalmente con su origen, historia y con las características geológicas de su cubeta y de su cuenca (Vega et al. 2005).

*“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)”.*

Dentro de las distintas medidas morfométricas se encuentra la *línea de costa* ( $D_L$ ) que mide el grado de irregularidad de la costa. Esencialmente, es el radio de la longitud de la costa sobre la longitud de la circunferencia de un círculo del área de la laguna. Lagos perfectamente circulares registran un valor de  $D_S$  igual a 1,0 aun cuando, en promedio, los lagos tienen valores entre 1,5 y 2,5. Los lagos ramificados presentan valores entre 3 - 5 y raras ocasiones son superiores a 10. En general, los lagos en chimeneas volcánicas (y tal vez alguna dolina y lagos circo) tienen un mínimo de evolución de la línea costera, mientras que, en el otro extremo, los lagos en valles glaciares con surcos longitudinales, presentan cubetas de formas irregulares que se manifiesta en los valores más altos.

Sobre la base de estos antecedentes, en este trabajo se calculan los valores de  $D_L$  de las lagunas digitalizadas hasta el momento a fin de determinar cuán circulares son, como así también respaldar cuantitativamente los procesos de modificación del paisaje de lomadas.

**Figura N° 2. Laguna de la Lomada Norte. Corrientes, Argentina.**



## Materiales y Métodos

Se han digitalizado un total de 4152 lagunas correspondientes a la totalidad de cuerpos de agua lénticos digitalizados hasta el momento en la provincia de Corrientes. Posteriormente, por medio de ArcGis se han calculado el perímetro, la superficie y posteriormente el  $D_L$  de cada una de las lagunas, aplicando la siguiente fórmula:

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

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

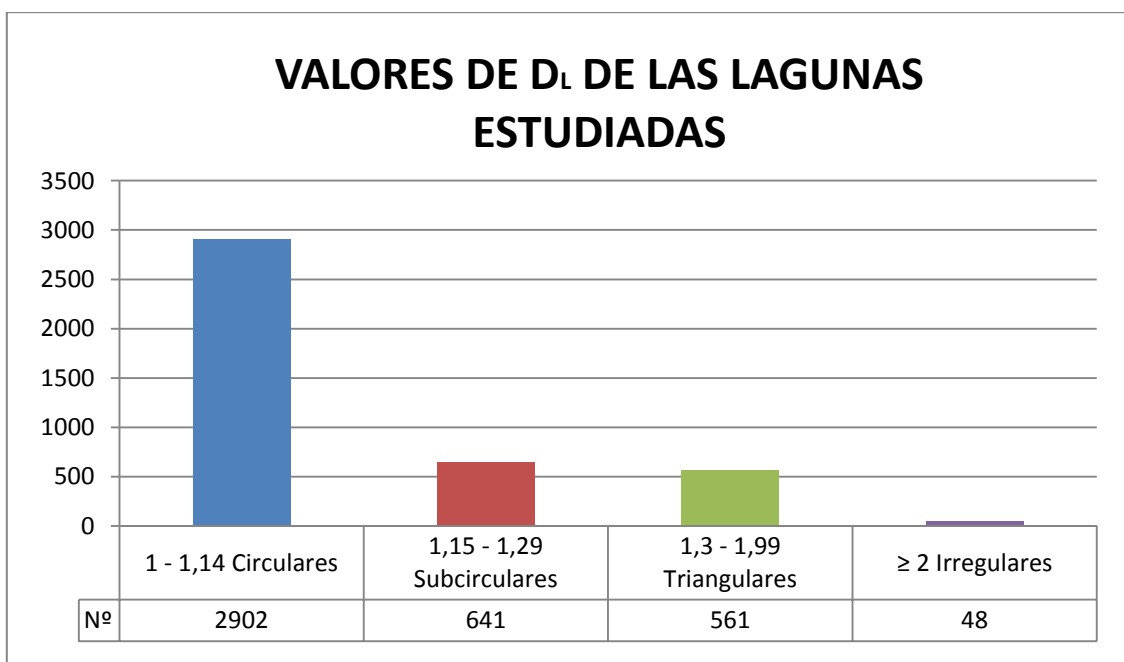
## Resultados y discusión

El cálculo de superficie demuestra que la mayoría de las lagunas de la Lomada Norte, no tienen grandes dimensiones, considerando que la media es de 68.025 m<sup>2</sup> y la mediana es de 11.980 m<sup>2</sup>. Por otra parte, el valor mínimo calculado es de 99 m<sup>2</sup>. De hecho, el 84% de las lagunas se encontraría por debajo del valor medio, permite hablar de un predominio de pequeñas lagunas. Por el contrario, sólo se observan 30 lagunas cuya superficie supera el millón m<sup>2</sup>.

En cuanto al perímetro, los resultados obtenidos están relacionados con los mencionados anteriormente. El valor medio es de 787 m<sup>2</sup>, mientras que el valor de la mediana es de 423 m<sup>2</sup>. También cabe destacar que el 76% de las lagunas se encuentra por debajo de la media, por lo que se confirma la idea anterior.

Respecto de los valores de  $D_L$ , la media es de 1,15 (el 70% es inferior al promedio), mientras que la mediana es de 1,07. 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 considerarla 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 con otras lagunas.

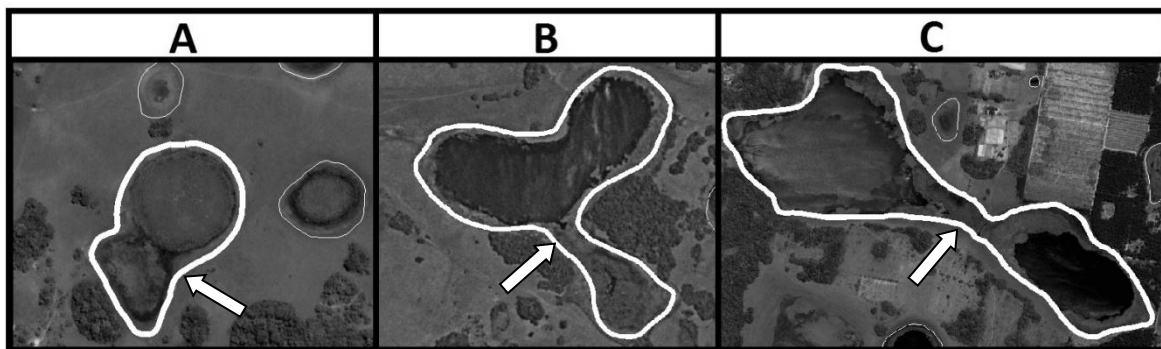
**Figura N° 3. Cantidad de Lagunas según la Clasificación de Timms (1992).**



Elaboración Propia

Considerando clasificar a las lagunas a partir del valor de  $D_L$  y teniendo en cuenta la clasificación propuesta por Timms (1992), cabe destacar que resulta difícil establecer los rangos según su morfología, ya que una determinada forma con un valor de  $D_L$  de 1,15; que se encuentra dentro de las formas subcirculares, también la encontramos con valores de 1,59 (con gran frecuencia y hasta 1,69 (como caso extremo); muy cercanas a las lagunas de forma irregular. Esta situación, se observa en las lagunas que poseen la forma que se observa en la figura 4, y que si bien la forma de las lagunas es similar, la diferencia entre ambos valores está dado por cuán ancha es la unión entre ambas lagunas, en relación con el perímetro. En otras palabras, cuanto más ancha es 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 la superficie, aumentando con él el valor de  $D_L$ .

**Figura N° 4. Valores de  $D_s$  de las Lagunas de la Lomada Norte, Corrientes**



A:  $D_L = 1,15$  – B:  $D_L = 1,59$  – C:  $D_L = 1,69$ . La flecha blanca indica la zanja de erosión. Se destaca la presencia de vegetación acuática flotante (A: cubierta en su totalidad, B: parcialmente sobre la laguna secundaria<sup>1</sup> y la zanja de erosión y C: principalmente sobre la zanja de erosión). Fuente: Imágenes de Google Earth.

Considerando las etapas de evolución de Contreras (2011) (Ver figura 1) 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 puede responder a la conexión entre distintas lagunas, en distintas etapas de evolución.

Sin embargo, no se puede relacionar directamente el aumento de  $D_L$  de estas lagunas con sus etapas de evolución, ya que al unirse con otra laguna, aumentan el perímetro y la superficie de la misma, pero principalmente el perímetro. A medida de que se va ensanchando el canal que las une, los valores de  $D_L$  van a ir disminuyendo, ya que el perímetro se mantiene o se incrementa insignificadamente, mientras que la superficie va aumentando.

Por lo tanto, los procesos erosivos que ocurren sobre las lomadas arenosas, están regulando la morfología de las lagunas, evitando que adquiera valores relativamente altos. No obstante, se observan formas triangulares e irregulares. Esta situación está relacionada con el número de lagunas interconectadas y cuando los procesos de erosión que las unen son recientes o poco avanzados.

Por último, se ha comprobado que la “circularidad” de la laguna no obedece exclusivamente a los procesos que le dieron origen, sino por el contrario, los cambios morfológicos ocurridos en cada laguna son muy significativos y aún más cuando se realizan comparaciones de  $D_L$  en un período de tiempo. Como se observa en la figura 5 y en la tabla 1, la laguna A en el año 2006 poseía una forma subcircular con 1,16 de  $D_L$ . Sin embargo, esta laguna en el pasado poseía una superficie mayor, ya que se encontraba unida a la

<sup>1</sup> Se hace la discriminación entre laguna principal y secundaria en función del tamaño de las lagunas conectadas, siendo siempre la principal la de mayor tamaño.

laguna B. En este sentido, se ha calculado el  $D_L$  de la cubeta máxima obteniendo un valor de 1,37, con lo cual esta laguna poseía una forma triangular.

Para el año 2012, los cambios observados fueron cualitativa y cuantitativamente mucho más notables, ya que, como se puede observar en la figura 5, la laguna A se ha convertido en una laguna circular con un  $D_L$  de 1,04.

**Figura N° 5. Cambios morfológicos en una lagunas de Bella Vista entre los años 2006 y 2012.**



**Tabla N° 1. Evolución morfométrica de la una laguna de Bella Vista entre los años 2006 y 2012.**

	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	$D_L$
Cubeta total	1412	84665	1,37
08/02/2006	843,77	42331	1,16
15/05/2012	630,7	29504	1,04

Este proceso de “redondeamiento” de la laguna ha sido estudiado en las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio y fue denominado como “the roundness process” o proceso de “terrestrialization” (Paira y Drago, 2006), el cual es utilizado para mencionar al proceso por el cual las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio se vuelven circulares por la acumulación de sedimentos, debido a la imposibilidad de rejuvenecerse por estar aisladas del curso superior.

## Conclusiones

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

En función de lo anterior, podría relacionarse 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 que 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 considerablemente 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  $D_L$ .

Por último, se observó que la circularidad de las lagunas puede no estar relacionada al proceso que le dio origen, sino por el contrario, los prolongados períodos secos podrían incidir en los cambios morfológicos de manera similar a los procesos de redondeamiento observados en las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio, previas a extinguirse. 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.

## Referencias bibliográficas

- Carnevali, R. (1994). *Fitogeografía de la Provincia de Corrientes*. Ed. Litocolor, Asunción.
- Contreras F.I. (2011). “Evolución de las lagunas en función de la pendiente, Lomada Norte. Provincia de Corrientes, Argentina”. *Terra Nueva Etapa*. Vol. XXVII, Nº 42: 145-163.
- Frenguelli, J. (1924). *Apuntes geomorfológicos sobre el interior de la provincia de Corrientes*. Casa Coni, Buenos Aires, pp. 1-41
- Iriondo, M. (2007). *Introducción a la Geología. 3ª edición*. Editorial Brujas. Córdoba.
- Iriondo, M. y Paira, A. (2007). *Geomorphology. The Middle Paraná River – Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Montoya Moreno, Y. (2008). “Caracterización morfométrica de un sistema fluvioacustre tropical, Antioquia, Colombia”. *Caldasia* 30: 413 – 420.
- Paira A. y Drago E.(2006). “Genetical, morphological and evolutionary relationships of the floodplain lakes in the Middle Paraná River hydrosystem”. *Zeitschrift für Geomorphologie* 145: 207-228.
- Popolizio, E. (1984). “Importancia de la fotointerpretación Geomorfológica en las Obras de Ingeniería de las Llanuras”, en *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*. Gleneagles Publishing, Adelaide.