



**LAS LAGUNAS Y SUS DINAMICAS GEOMORFOLÓGICAS EN LA
TRANSFORMACIÓN DE LOS PAISAJES DE LOMADAS ARENOSAS DE LA
PROVINCIA DE CORRIENTES (ARGENTINA)**

FÉLIX IGNACIO CONTRERAS

Tesis Doctoral

**Presentada a la Facultad de Humanidades de la
Universidad Nacional del Nordeste
para aspirar al título de
DOCTOR EN GEOGRAFÍA**

Directora: Dra. NORMA CRISTINA MEICHTRY

Co-Director: Dr. RAÚL MIKKAN

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

Agosto de 2016

Dedicatoria

Dedicado a todas las personas que me han acompañando durante el transcurso de la investigación, demostrando su interés y brindando su tiempo para escucharme hablar monotemáticamente, en reiteradas oportunidades sobre las lagunas.

A mi familia y amigos que siempre han estado a mi lado e incluso a todas las personas he tenido la dicha de conocer a partir de investigar y divulgar los conocimientos acerca de estos pequeños cuerpos de agua. Principalmente a aquellas que cada vez que viajan por la provincia de Corrientes observando a las lagunas y tratando de determinar si se trata de una laguna circular o no.

A las personas que quizás en un futuro lean esta tesis y les resulte de interés, no únicamente en apoyo a los conocimientos que de aquí surgen, sino también para refutarlos y mejorarlos.

Por último, quisiera dedicar especialmente esta tesis a todas las personas que han confiado en mí, ya sea para la finalización de sus respectivas carreras de grado, como también en sus inicios en la investigación, ya que han sido y seguirán siendo, el mayor estímulo que pueda tener para continuar haciendo esto que me apasiona.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), los cuales me han permitido realizar esta Tesis en el marco de una Beca Doctoral Cofinanciada; al igual que a la Secretaría General de Posgrado (UNNE) que me ha favorecido con subsidios para la realización de cursos de Posgrado.

También deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes instituciones, investigadores y colegas.

Al Instituto de Investigaciones Geohistóricas ((IIGHI - CONICET – UNNE), que fuera mi lugar mi lugar de trabajo durante los primeros años de esta investigación y en el cual siempre se me han brindado las condiciones laborales indispensables, ya sea las referidas a instalaciones como al apoyo para realizar tareas de divulgación y transferencia, como actividades paralelas y/o complementarias a la investigación.

Al Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CONICET – UNNE), actual lugar de trabajo, por brindarme un espacio para poder profundizar mis conocimientos y poder compartir la información generada con otros grupos de investigación. En especial al Dr. Oscar Orfeo, actual director de Beca Doctoral, y al Prof. Neiff, por sus sugerencias y comentarios relacionados con las investigaciones llevadas a cabo.

Al Laboratorio de Física del Instituto Nacional de Limnología (CONICET – UNL) por permitirme realizar pasantías durante los distintos años de beca, los cuales fueron sumamente significativos para poder discutir los resultados y establecer los siguientes objetivos a cumplir a medida que iba avanzando la publicación. Especialmente al Prof. Edmundo Drago por su dedicación, observaciones y sugerencias.

Al Dr. José Federico Ruiz Díaz del Instituto de Ictiología del Nordeste (UNNE), a la Dra. María Alejandra Fantín (IIGHI) y a la Dra. Viviana Griselda Solís Neffa del Instituto de Botánica del Nordeste (CONICET – UNNE), por permitirme participar en proyectos de investigación y financiar a través de los mismos, parte de mis investigaciones, salidas de campo y publicación de resultados.

A la Prof. Elsie Araseli Ojeda y a la Lic. Mariana Paola Odriozola por colaborar en la digitalización de lagunas. A la Dra. Silvina Andrea Contreras por el asesoramiento y asistencia en los análisis estadísticos. Al Sr. Juan Ignacio Martín González por introducirme en los modelos digitales de elevación y sus posteriores sugerencias.

Al Departamento de Agrimensura de Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE) por permitirme dar a conocer los resultados de esta Tesis Doctoral en la Cátedra Geografía Física y Geomorfología.

A la Junta de Geografía de la Provincia de Corrientes por permitirme divulgar los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral.

Al Sr. Edwin Harvey por autorizarnos a utilizar sus fotografías aéreas en esta Investigación.

A la Dra. Norma Cristina Meichtry, Dr. Raúl Mikkan y al Lic. Aldo Raúl Paira, quienes me han orientado durante todo el proceso de formación, sin los cuales esta Tesis no hubiese sido posible, ya que los resultados de la misma fueron producto de sus consejos y sugerencias durante las diferentes etapas de esta investigación.

LAS LAGUNAS Y SUS DINAMICAS GEOMORFOLÓGICAS EN LA TRANSFORMACIÓN DE LOS PAISAJES DE LOMADAS ARENOSAS DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES (ARGENTINA)

Félix Ignacio Contreras

Directora: Dra. Norma Cristina Meichtry

Co-Director: Dr. Raúl Mikkan

El río Paraná ingresa a la planicie mesopotámica generando un gran abanico aluvial o mega abanico, que se extiende 260 Km de E a O y 500 Km de N a S, ocupando el S del Paraguay y el NO de la provincia de Corrientes. Durante el Cuaternario Superior, el Paraná fue creando cursos relativamente estables que finalmente fueron abandonados por la corriente principal y sustituidos por grandes pantanos. Durante su desplazamiento, el Paraná ocupó sucesivamente diferentes tramos y, en consecuencia, la región se fue configurando con un paisaje de lomadas arenosas, que en la actualidad actúan como interfluvios de planicies cóncavas que las rodean, pertenecientes a valles de cursos autóctonos y esteros. Las lomadas constituyen un elemento significativo para la población de la región, ya que brindan espacios elevados para el desarrollo urbano, trazado de rutas y actividades económicas ligadas a la ganadería, agricultura y forestación. Sin embargo, la principal característica paisajística de las lomadas es la distribución de las 38.926 lagunas someras, tanto permanentes como temporarias, cuya densidad es de 3 lagunas por Km² en promedio, ocupando el 20% de la superficie de la región y un 3% de la superficie de la provincia. Se han clasificado a estas lagunas en siete grupos en función de su conectividad y temporalidad; se estableció un proceso de evolución desde pequeñas lagunas temporales a grandes lagunas permanentes y se determinó que la pendiente posee un rol fundamental en dichas etapas. Se han calculado sus valores morfométricos de perímetro, superficie y desarrollo de la línea de costa, concluyendo que existe un predominio absoluto de pequeñas lagunas circulares. Comparaciones morfométricas temporales demostraron que estas lagunas adoptan formas circulares al extinguirse y al reaparecer en respuesta de los ciclos húmedos y secos de la región y que esta situación trae consecuencias en la población, principalmente en los crecimientos espaciales de las ciudades. Finalmente se brindan aportes acerca del origen de las lagunas, proponiendo que no existe un único factor, sino que más bien responden a procesos poligenéticos.

Palabras Clave: Lagunas, lomadas arenosas, transformación del paisaje, geografía física, Corrientes.

**SANDY HILLS LANDSCAPES TRANSFORMATIONS FROM
GEOMORPHOLOGICAL DYNAMICS OF SHALLOW LAKES IN THE
CORRIENTES PROVINCE (ARGENTINA)**

Félix Ignacio Contreras

Directora: Dra. Norma Cristina Meichtry

Co-Director: Dr. Raúl Mikkan

A large alluvial fan or mega fan in the Mesopotamian plain was generated by the Paraná River. This fan extends, 260 Km E – W and 500 km from N to S, in the southern Paraguay and northwest in the Corrientes province. During the Upper Quaternary, the Paraná River was relatively stable and formed different courses. These courses were eventually abandoned by the mainstream and replaced by large swamps. During Paraná migrations successively occupied various sections and consequently, the landscape of sandy hills was set in the region. The hills are a significant element of the regional population that provide spaces for urban development, plotting routes and linked to livestock, agriculture and forestry economic activities. However, the main landscape feature of sandy hills is the distribution of 38.926 shallow lakes, both permanent and temporary water bodies. There are 3 shallow lakes per Km², corresponding to 20% of the surface of the sandy hills and 3% of the surface from the province. The shallow lakes were classified in seven groups based on their connectivity and timing. Stages of evolution are proposed from small to large temporary ponds to permanent big shallow lakes. The slope has a fundamental role in these stages. Morphometric values of perimeter, area and shore line development of shallow lakes were calculated. In conclusion, the small circular shallow lakes predominated over the others forms. Temporary morphometric comparisons showed that these shallow lakes adopt a circular form when become to extinct and reappear in response to wet cycles. This situation has consequences for the population, mainly in the spatial of growth cities. Finally, origin of the shallow lakes was provided, and this origin does not respond to unique factor, but involves polygenetic processes.

Keywords: shallow lakes, sandy hills, landscape transformation, Physical Geography, Corrientes.

Índice

	Pág.
1. Introducción	1
1.1. Objetivo general	8
1.2. Objetivos particulares	8
1.3. Hipótesis	9
1.4. Metodología	10
1.4.1. La metodología de trabajo y la visión desde la ecología del paisaje	10
1.4.2. Metodología para el estudio de la distribución, clasificación y evolución de lagunas de lomadas arenosas	11
1.4.3. Análisis y comparación morfométrica	15
1.4.4. Generación de modelos digitales de escurrimiento y anegamiento	16
1.4.5. Análisis de concentraciones de Hierro	16
2. Capítulo 1: Configuración del paisaje de la región de lomadas arenosas	17
2.1. Aplicación de modelos digitales de elevación y análisis espacial de la región de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes	22
2.2. Aspectos Geológicos de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina)	31
2.2.1. Formación Ituzaingó	32
2.2.2. Formación Toropí – Yupoí	33
2.3. Cambios climáticos y formaciones vegetales de la región	36
3. Capítulo 2: Distribución, evolución, clasificación de las lagunas de la región de lomadas arenosas	42
3.1. Descripciones de lagunas de la región de lomadas arenosas	46
3.2. Distribución de las lagunas de la región de lomadas arenosas	48
3.3 Evolución y clasificación morfológica de las lagunas	57

3.3.1. Lomada Norte del Riachuelo	78
3.3.2. Lomada General Paz – Bella Vista	79
3.3.3. Lomada San Miguel – Goya	80
3.4. Incidencia de la pendiente en la evolución de las lagunas	83
4. Capítulo 3: Morfometría de las lagunas de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes, Argentina.	90
4.1. Morfometría de las lagunas de lomadas arenosas	92
4.2. Lagunas circulares	101
4.3. Lagunas subcirculares	102
4.4. Lagunas triangulares	104
4.5. Lagunas de formas complejas	105
4.5.1. Lagunas irregulares simples	106
4.5.2. Lagunas dendríticas	107
4.5.3. Lagunas irregulares complejas	108
4.6. Respuestas morfométricas a los ciclos húmedos y secos	113
4.7. Comparación morfométrica de las lagunas de lomadas arenosas con lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio.	122
5. Capítulo 4: El riesgo de anegamiento por el avance del crecimiento espacial de las ciudades sobre el paisaje de lomadas arenosas	131
5.1. El riesgo de anegamiento como consecuencia del crecimiento espacial de las ciudades en períodos secos.	131
5.2. El impacto ambiental del crecimiento espacial de la ciudad de Corrientes sobre lagunas periurbanas	148
5.3. El impacto de la actividad forestal sobre el paisaje de lagunas de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes.	155
6. Capítulo 5: Contribuciones al conocimiento del origen de las lagunas	163
6.1. Sobre el origen de los lagos y las lagunas	163
6.2. Las lagunas de la región de lomadas arenosas. Consideraciones sobre su origen	165
6.3. Discusiones acerca del uso del término pseudokarst	166

6.4. Las semejanzas entre la región de lomadas arenosas (Corrientes, Argentina) y Nhecolândia (Mato Grosso do Sul, Brasil).	168
6.5. El origen de las lagunas como cubetas de deflación	176
6.5.1. Deflación en el noderdeste argentino	180
6.6. Las evidencias de paleocauces en lomadas arenosas	181
6.7. La Interacción entre procesos eólicos e hídricos	186
6.8. Los procesos psudokársticos en lomadas arenosas	190
6.8.1. Evidencias de pérdida de hierro en lomadas arenosas	202
6.9. Las lagunas de lomadas arenosas, cuerpos de agua poligenéticos	203
7. Conclusiones	208
7.1. Líneas futuras de investigación	213
Anexos	215
Bibliografía	247
Curriculum Vitae	272

Lista de Tablas

Nº	Títulos	Pág.
1	Cantidad de lagunas, superficie total, porcentaje de la superficie, porcentaje de la lomada que la contiene y densidad de lagunas por departamento	85
2	Medidas descriptivas de la totalidad de lagunas del paisaje de lomadas arenosas (Corrientes, Argentina).	95
3	ANOVA de las características cuantitativas de las lagunas de los departamentos de la provincia de Corrientes analizados.	95
4	Frecuencia de las distintas formas simples de lagunas en los Departamentos estudiados.	97
5	Frecuencia de las distintas formas complejas de lagunas en los Departamentos estudiados	98
6	Estadísticas descriptivas de las lagunas circulares	103
7	Estadísticas descriptivas de las lagunas subcirculares	105
8	Estadísticas descriptivas de las lagunas triangulares	106
9	Estadísticas descriptivas de las lagunas irregulares simples	108
10	Estadísticas descriptivas de las lagunas dendríticas	109
11	Estadísticas descriptivas de las lagunas irregulares complejas	111
12	Elasticidad de algunos grandes Humedales	117
13	Comparación de formas de lagunas en años húmedos y secos. Bella Vista (Corrientes). Años 2012 y 2013.	120
14	Evolución de la población de la ciudad de Corrientes	139
15	Evolución de la actividad forestal de <i>Eucaliptus sp.</i> y <i>Pinus sp.</i> en la provincia de Corrientes. Años 2008 y 2014.	158
16	Superficies absolutas de la actividad forestal de <i>Eucalyptus sp.</i> y <i>Pinus sp.</i> en la provincia de Corrientes. Año 2014	159
17	Superficie relativas de la actividad forestal de <i>Eucalyptus sp.</i> y <i>Pinus sp.</i> en la provincia de Corrientes. Año 2014	160
18	Características del perfil del suelo de Chavarría (San Roque)	203

Lista de Figuras

Nº	Título	Pág.
1	Fotografía aérea de lagunas del paisaje de lomadas arenosas. (Corrientes, Argentina)	2
2	Delimitación de la cubeta de una laguna (Bella Vista, Corrientes). Fecha: 17/07/2012	13
3	Delimitación entre una lomada arenosa y los esteros circundantes. Departamento San Cosme (Corrientes).	14
4	Ubicación del mega abanico aluvial del río Paraná.	18
5	Distribución de las lomadas arenosas y delimitación de las regiones fisiográficas	22
6	Modelo Digital de Elevaciones de la Provincia de Corrientes (Argentina)	24
7	Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio	25
8	Modelo Digital de Elevaciones de la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)	26
9	Dirección de la pendiente de la Lomada Norte (Corrientes, Argentina).	27
10	Porcentaje de las alturas de la Lomada Norte (Corrientes, Argentina).	27
11	Modelo Digital de Elevaciones de la lomada General Paz – Bella Vista	28
12	Dirección de la pendiente de la lomada General Paz – Bella Vista (Corrientes, Argentina).	29
13	Porcentaje de las alturas de la lomada General Paz – Bella Vista (Corrientes, Argentina).	29
14	Modelo Digital de Elevaciones de la lomada San Miguel – Goya (Corrientes, Argentina).	30
15	Dirección de la pendiente de la lomada San Miguel – Goya (Corrientes, Argentina).	31
16	Porcentaje de las alturas de la lomada San Miguel – Goya (Corrientes, Argentina).	31
17	Barrancas de Empedrado (Corrientes, Argentina). Formación Toropí / Yupoí y Formación Ituzaingó	32
18	Reconstrucción de un ambiente similar al existente a Toropí (Corrientes, Argentina).	35
19	Delimitación de palmares. Departamento Concepción, Corrientes. Año 2007	36
20	Perfiles esquemáticos de la vegetación desde los 6140 años A.P. hasta la actualidad	39
21	Fotografía de las formaciones vegetales encontradas sobre las lomadas arenosas. Mburucuyá (Corrientes).	40
22	Bosques de ribera ubicados sobre el límite de la lomada arenosa. Departamento Concepción, Corrientes	42
23	Efecto del viento sobre las macrófitas flotantes libres de dos lagunas del departamento General Paz, Corrientes. Año 2007	45
24	Comparación entre la clasificación no supervisada de la imagen LANDSAT 5 TM Path/Row 226/079 con fecha 21/04/1999 (período húmedo) y World Imagery.	50
25	Comparación entre los resultados de la clasificación no supervisada. San Cosme, Corrientes. Años 1999 y 2009.	52
26	Distribución de lagunas del paisaje de lomadas arenosas (Corrientes, Argentina)	54

27	Alineación de lagunas sobre el paisaje de lomadas arenosas (Esquina, Corrientes).	56
28	Distribución de lagunas de la localidad de Berón de Astrada (Corrientes).	57
29	Comparación entre la totalidad de superficie ocupada por lagunas y las superficies departamentales.	58
30	Líneas preferenciales de escurrimento (San Cosme Corrientes). Año 2013	61
31	Canal conector entre dos lagunas (San Cosme, Corrientes). Año 2013	62
32	Dos grandes lagunas rodeada de pequeñas lagunas circulares (Itatí, Corrientes). Año 2005	62
33	Laguna conectada con la planicie Sur de la Lomada Norte (San Come). Año 2016	63
34	Proceso de “redondeamiento” (Bella Vista, Corrientes). Años 2006, 2012 y 2013	64
35	Fotografía de una laguna aislada permanente	67
36	Fotografía con interconexión semipermanente	68
37	Laguna de conexión permanente y una de conexión semipermanente.	69
38	Laguna grande de forma simple	70
39	Laguna grande de forma compleja e islas en el interior de la cubeta.	71
40	Fotografía de la Laguna Brava, conectada con la planicie en su porción oriental	72
41	Frente de avance de la planicie sobre la Lomada Norte a través de la ubicación de lagunas. (Itatí, Corrientes). Año 2005.	73
42	Fotografía de un frente de avance de la planicie sobre la lomada (Itatí, Corrientes).	74
43	Distribución de <i>islas</i> de los esteros del Iberá. Año 2011	74
44	Fotografía aérea de una isla de los esteros del Iberá	75
45	Fotografía de una línea preferencial de escurrimento e imagen de Google Earth de líneas preferenciales de escurrimento	76
46	Anegamiento sobre la lomada arenosa como resultado del desborde de una laguna (San Cosme, Corrientes)	77
47	Áreas anegables circundantes a pequeñas lagunas (Esquina, Corrientes). Años 2013 y 2016..	78
48	Fotografía de lagunas del paisaje de Boa Vista (Roraima, Brasil)	79
49	Distribución de lagunas de la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)	80
50	Distribución de lagunas de la lomada General Paz – Bella Vista (Corrientes, Argentina)	81
51	Distribución de lagunas de la lomada San Miguel - Goya (Corrientes, Argentina)	82
52	Distribución de lagunas del departamento Berón de Astrada (Corrientes, Argentina)	83
53	Delimitación de las subcuenca sobre la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)	85
54	Comparación entre el modelo de escurrimento y las imágenes de Google Earth	86
55	Delimitación de la cuenca de la laguna	87
56	Pequeños conos aluviales en el interior de una laguna (Concepción, Corrientes). Año 2013	89
57	Sistema deltaico lacustre en el interior de una laguna (Lavalle, Corrientes). Año 2013	90

58	Representación Gráfica del Desarrollo de la Línea de Costa de tres lagos con formas hipotéticas circular, triangular y dendrítica	92
59	Superposición de un Modelo Digital de Elevación con lagunas circulares e irregulares (Goya, Corrientes)	98
60	Incidencia de la topografía sobre la morfología de una laguna irregular (Goya, Corrientes)	99
61	Tipos de laguna según los valores D_L observadas en las lomadas arenosas de Corrientes	100
62	Porcentaje de lagunas circulares por departamentos. Provincia de Corrientes	103
63	Porcentaje de lagunas subcirculares por departamentos. Provincia de Corrientes	104
64	Porcentaje de lagunas triangulares por departamentos. Provincia de Corrientes.	106
65	Cantidad de lagunas irregulares simples por departamentos. Provincia de Corrientes	108
66	Cantidad de lagunas dendríticas por departamentos. Provincia de Corrientes	109
67	Cantidad de lagunas irregulares complejas por departamentos. Provincia de Corrientes	110
68	PCA de las variables morfométricas de las lagunas de lomadas arenosas por departamentos (Provincia de Corrientes)	111
69	Regiones de las lomadas arenosas a partir del PCA de las variables morfométricas de las lagunas	112
70	Paisaje de lomadas arenosas (Esquina, Corrientes). Año 2013	113
71	Distribución de lagunas del departamento Bella Vista (Corrientes, Argentina)	117
72	Distribución de lagunas del área de estudio (Bella Vista, Corrientes, Argentina)	118
73	Formas de reaparición adoptadas por las lagunas de Bella Vista (Corrientes, Argentina). Año 2013	120
74	Distribución de lagunas encadenadas del departamento Bella Vista (Corrientes, Argentina).	120
75	Clasificación de lagunas según la temporalidad e índice de cambio (Bella Vista, Corrientes).	122
76	Frecuencias de los perímetros y de las áreas lagunares	126
77	Frecuencias del D_L de las lagunas estudiadas	127
78	Morfología de las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio	127
79	Comparación entre las situaciones de las lagunas del valle aluvial con las lagunas de lomadas arenosas durante un pulso de inundación del río Paraná. Años 2008 y 1998	129
80	Provincias pertenecientes a la Región Norte Grande Argentino y ubicación de la ciudad de Corrientes	133
81	Paisaje de pastizales e isletas boscosas, San Cosme (Corrientes)	137
82	Plano de la Ciudad de Corrientes desde 1814 a la actualidad	138
83	Fotografía aérea de la ciudad de Corrientes en el año 1950	140
84	Fotografía de una familia afectada por las lluvias del mes de abril de 2014	141
85	Crecimiento espacial del área urbana de la ciudad de Corrientes con dirección NE y E. Año 2016	142

86	Límite natural de la expansión con dirección E de la ciudad de Corrientes. Año 2010	143
87	Construcción de una vivienda sobre un paisaje de bañados secos	144
88	Asentamiento espontáneo sobre bañados luego de precipitaciones	145
89	Anegamiento en casas construidas en lagunas (Corrientes, Argentina)	146
90	Ocupación de lagunas en áreas periurbanas de la ciudad de Corrientes. Años 2003 y 2014	147
91	Construcción de una vivienda en el interior de una laguna en áreas periurbanas de la ciudad de Corrientes. Año 2016	148
92	Detección de lagunas impactadas por el crecimiento espacial de la ciudad de Corrientes entre los años 2002 y 2014	152
93	Clasificación de las lagunas periurbanas de la ciudad de Corrientes según el tipo de impacto antrópico observado	153
94	Construcción de calles y viviendas sobre lagunas periurbanas de la ciudad de corrientes. Comparación de imágenes años 2003 y 2016.	154
95	Construcción de Viviendas sobre cubetas semipermanentes. (San Ana de los Guácaras, San Cosme)	155
96	Consecuencias de la construcción de calles sobre cubetas de lagunas semipermanentes	156
97	Fotografía aérea de la actividad forestal alrededor una laguna circular. (Concepción, Corrientes).	160
98	Impacto ambiental de la forestación sobre palmares de lomadas arenosas (Colonia Pando, San Roque). Años 2007 y 2012	161
99	Acumulación de troncos de Butia Yatay en la cubeta de una laguna. Colonia Pando (San Roque, Corrientes). Año 2012	162
100	Aserradero que arroja aserrín en una laguna del Departamento Saladas (Corrientes). Años 2003 y 2013	159
101	Lagunas de la región de Nhecolândia (Pantanal Mato-grossense, Brasil). Año 2013	170
102	Fotografía de una laguna de la Región de Nhecolândia (Pantanal Mato-grossense, Brasil)	170
103	Lagunas de Boa Vista (Roraima, Brasil)	174
104	Fotografía de una laguna de Boa Vista (Roraima, Brasil)	174
105	Lagunas de Porto Rico (Paraná, Brasil)	175
106	Fotografía de Porto Rico (Paraná, Brasil)	175
107	Lagunas formadas por deflación, en el estado de Orange Free (Sudáfrica)	178
108	Ripples de oscilación sobre una lomada arenosa (Concepción, Corrientes). Año 2013.	179
109	Laguna Ensenadita, Paso de la Patria, Corrientes, Argentina	183
110	Formación de un meandro a través de un encadenamiento de lagunas (Goya, Corrientes). Año 2003	186
111	Actuales escurrimientos sobre el paisaje de lomadas arenosas (Tacuaras, Ñeembucú, Paraguay). Año 2014	186
112	Laguna Irregular Compleja del paisaje de lomadas arenosas (Concepción,	190

Corrientes)		
113	Imagen de Google Earth de “La Cascadita” (Goya, Corrientes)	194
114	Procesos de piping cercanas a barrancas sobre el río Paraná	195
115	Fotografía del valle del arroyo La Cascadita (Goya, Corrientes)	196
116	Líneas preferenciales de escurrimiento desde lagunas hacia las cárcavas (Goya, Corrientes). Año 2016	197
117	Fotografía de la Barranca de La Cascadita (Goya, Corrientes)	198
118	Fotografía de un perfil del suelo de una lomada arenosa (Chavarría, San Roque)	199
119	Presencia de lamelas (arcillas con concentraciones de óxido de hierro)	201
120	Fotografía de pérdida de Arcilla en el Horizonte arenoso	202
121	Manchas de Óxido de Hierro provenientes de la Napa Colgada (Goya, Corrientes)	204

Introducción

La provincia de Corrientes se caracteriza por sus paisajes íntimamente ligados con el agua, ya sea por la presencia de dos de los principales ríos de Argentina (Paraná y Uruguay), numerosos cursos autóctonos o bien por grandes extensiones de humedales como lo son los esteros, cañadas y bañados; nuestro territorio posee un gran número de lagunas de distintos orígenes y dinámicas geomorfológicas muy diferentes pese a encontrarse muy próximas entre sí.

El objeto de estudio de esta investigación son las lagunas de lomadas arenosas que se generan en el abanico aluvial del río Paraná ubicado en Noroeste de la provincia de Corrientes (Argentina). Se considera que son aún escasos los antecedentes referidos a sus orígenes, distribución, morfometría y a sus respuestas morfométricas a los períodos húmedos y secos. Asimismo, son aún mínimos los aportes existentes acerca de las interacciones de la sociedad con dichas lagunas, particularmente en relación con los impactos ambientales sobre el territorio y a los riesgos a los que se expone a la población instalada. En otras palabras, se pretende contribuir al conocimiento de los factores interviniéntes en la configuración del paisaje de lomadas arenosas, teniendo a sus lagunas como eje principal de la investigación.

En una primera aproximación, podemos destacar que en la provincia de Corrientes existen al menos cuatro tipo de lagunas: 1- *Grandes lagunas ubicadas en esteros*: las cuales son espejos de agua libres de macrófitas flotantes o embalsados, que al no ser cuerpos de agua cerrados, poseen conexión directa con los esteros circundantes y por lo tanto existe libre entrada y salida de agua. Sin embargo, constituyen las lagunas de mayor importancia geográfica en esta provincia, ya sea pensando en investigaciones científicas como en la explotación turística del recurso. 2- *Lagunas de llanuras aluviales*: Estas lagunas ubicadas en los valles de los ríos, no solo se caracterizan por ser las “más jóvenes”, sino que su dinámica geomorfológica se encuentra asociada a los pulsos hidrosedimentológicos (Neiff, 1993) de los ríos; con lo cual su sistema se reinicia con cada creciente del río o la inundación del valle. 3- *Lagunas de lomadas arenosas* (Figura 1): Estas lagunas tienen un comportamiento completamente diferente de las anteriores, ya que la presencia de sus aguas depende exclusivamente de las precipitaciones locales. Si bien en la provincia de Corrientes son más numerosas que las anteriores y comparten los espacios con ciudades, rutas y actividades económicas como la agricultura y forestación, las mismas pasan desapercibidas por la población en general, principalmente en las

localidades que poseen contacto con algún río. 4- *Lagunas de lomadas arenosas que en la actualidad se encuentran conectadas con esteros*: Lagunas cuyo dinamismo presenta características de los distintos tipos ya mencionados. Por un lado, al igual que las lagunas de valles aluviales, estas lagunas pueden sufrir cambios en la calidad de sus aguas con el ingreso del agua proveniente de los esteros, ya sea en períodos húmedos de abundantes precipitaciones o por inundaciones de los ríos principales y sus respectivos tributarios. Se diferencian de las grandes lagunas de los esteros, porque estas poseen formas alargadas, paralelas al de las lomadas arenosas, la cual actúa como un límite definido sobre la porción que toma contacto con ella, mientras que el resto de su línea de costa, los límites los establece la presencia de macrófitas acuáticas.

Figura 1

Fotografía aérea de lagunas del paisaje de lomadas arenosas. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey. Año 2012

En cuanto a las lagunas de lomadas arenosas, objeto de estudio de esta investigación; si bien son las más numerosas, los trabajos que hacen mención a las mismas por lo general se han centrado en lagunas periurbanas, haciendo hincapié en el estudio de comunidades acuáticas y diversidades ecológicas, pero son prácticamente inexistentes trabajos referidos a la distribución, morfometría, dinámicas geomorfológicas y respuestas temporales de estas lagunas en los ciclos húmedos y secos de la región y

mucho menos como todas estas variables naturales repercuten o se relacionan con la población.

Es por ello que el conocimiento de las características y la dinámica geomorfológica de las lagunas de las lomadas arenosas, resulta de importancia para determinar los posibles impactos tanto actuales como potenciales, que pueden generarse, ya sea por el dinamismo natural o por la acción antrópica sobre este espacio geográfico.

“Desde el punto de vista ecológico, resulta de particular relevancia las características del cuerpo de agua con el que intercambian caudales y especies, así como la frecuencia e intensidad de estos intercambios” (Panario y Gutiérrez, 2011: 54).

Para Fregenal Martínez y Meléndez, (2010: 306), “los sistemas lacustres tanto actuales como fósiles presentan una serie de peculiaridades o características que los diferencian completamente de otros sistemas sedimentarios marinos y continentales”.

En este sentido Martínez y Meléndez, (2010: 306-307) destacan algunos puntos a tener en cuenta en relación al estudio de estos cuerpos de agua:

1. *Múltiples combinaciones posibles entre los parámetros o factores que controlan la dinámica sedimentaria en un momento dado dibujan un espectro muy amplio de tipos de lagos y de las posibles evoluciones que estos experimentan en el tiempo. Por ejemplo dos lago situados en la misma región, bajo el mismo contexto climático y régimen tectónico, con aguas de idénticas composición, pero que presentan morfometrías diferentes, tendrán ante variaciones ambientales comunes, dinámicas sedimentarias y respuestas muy dispares que pueden divergir cada vez más conforme ambos lagos siguen evolucionando aunque ambos se mantengan bajo el mismo contexto climático y tectónico.*
2. *La dinámica y las sucesiones de facies resultantes del desarrollo y relleno de charcas y lagunas someras son netamente diferentes de las de los lagos de mayores dimensiones.*
3. *Dado el pequeño tamaño del sistema, esperable una mayor homogeneidad de condiciones ambientales y por lo tanto de facies y asociaciones de facies. En el caso de las charcas, el proceso sedimentario puede dar lugar incluso a una única facies.*

4. Estos sistemas pequeños y someros tienen a rellenarse rápidamente, en algunos casos incluso de forma pasiva, por lo que pueden estar representados en por una única secuencia elemental, sin perjuicio de que se produzca el apilamiento de varias secuencias elementales que representan el relleno completo de sucesivas charcas o lagunas de similares características que se instalan cíclicamente sobre el mismo área al compás de la creación de acomodación necesario.
5. La abundancia de rasgos y facies palustres se debe a dos razones: 1) Sus dimensiones y su relleno rápido suelen suponer la extensión del ambiente palustre que en términos temporales puede incluso tener más entidad que el lacustre. 2) La escasa profundidad permite que variaciones de diversas magnitudes en el volumen de agua se manifiesten en oscilaciones de la lámina de agua y la exposición suárea de extensas áreas lacustres que pasarán a encontrarse en ambiente palustre.
6. La inmensa mayoría de las charcas y lagunas se desarrollan en el seno de sistemas deposicionales más complejos, de los que son un elemento más, por lo que su evolución y su participación en la arquitectura estratigráfica a escala de cuenca depende del tipo de sistema deposicional en el que se integran y de los factores que controlan a éste.
7. Aunque el sistema sea somero si la extensión superficial de la laguna es grande la variedad de subambientes irá aumentando y habrá siempre áreas fuera del alcance de los procesos palustres. Este es el caso de parte de los lagos evaporíticos de tipo playa; suelen ser sistemas someros de dimensiones variables sometidos a drásticas oscilaciones de la lámina de agua pero pueden presentar una variabilidad lateral notable de asociaciones de facies en el espacio y en el tiempo y una gran complejidad evolutiva y por tanto secuencial.

En función de lo expuesto, es evidente que cuerpos de agua someros como las lagunas y las charcas van a presentar una dinámica natural mucho más activa

relacionada con las fluctuaciones de los niveles de agua que las encontradas en los grandes lagos.

La digitalización a gran escala de las lagunas de las lomadas arenosas y un minucioso análisis de sus características y sus dinámicas de cambio, puede contribuir a una mejor comprensión no sólo de la riqueza hidrológica del fenómeno, sino también al estudio del origen, la variedad, la evolución de estos cuerpos de agua y de los paisajes asociados, así como al conocimiento de los usos, actuales y potenciales, de los mismos, por parte de la población. El tema se convierte, así, en el objetivo de la presente propuesta.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) no dispone de cartas topográficas a gran escala (1:50.000) y el INTA ha digitalizado únicamente grandes lagunas. Un ejemplo de ello es la Lomada Norte¹, donde sólo se han digitalizaron no más de 300 cubetas, cuando en realidad posee 925 (Contreras y Paire, 2015). En este sentido, el análisis topográfico detallado así como el análisis de imágenes satelitales, acompañadas por trabajo en el terreno, resultarán las herramientas para el reconocimiento de las características, la cantidad, la distribución espacial y la evaluación de los cambios temporales de los hechos geográficos. En este caso, el objeto de estudio son las lagunas de lomadas arenosas, dando a conocer tanto sus condiciones morfológicas, dinámicas en la formación, patrones de distribución y el rol que cumplen en la configuración/evolución de los paisajes de lomadas arenosas, a fin de contribuir al ordenamiento territorial de la región.

Sobre la base de estos antecedentes, en esta investigación se propone combinar el análisis de imágenes satelitales, análisis morfométrico y reconocimiento en terreno, conjuntamente con la revisión de resultados generados por investigaciones ya existentes, a fin de contribuir al conocimiento de las características geográficas, físicas y humanas que se presentan en el paisaje de lomadas arenosas, en la provincia de Corrientes, con particular énfasis en el tema de las lagunas.

En relación a estos cuerpos de agua y como en todo estudio geomorfológico, se debe partir desde los procesos que les dieron origen, ya que los mismos permiten explicar las dinámicas naturales que intervienen en la transformación del paisaje. Sin embargo, hasta el momento no existen antecedentes, que expliquen convenientemente la génesis de las lagunas de las lomadas arenosas, sino que más bien, se plantean argumentos a

¹ Se ubica, de Oeste a Este, entre los Departamentos Capital, San Cosme e Itatí y posee 80 Km de largo por 5 Km de ancho.

modo de hipótesis sin demostración concluyente. En este punto se destacan dos posturas, en primer lugar a los trabajos de Popolizio (1975 y 1984) que hacían mención de procesos pseudokársticos relacionados con la migración de coloides, sin embargo esta hipótesis ya había sido mencionada por De Diez y De Kesner (1967), aunque estas últimas autoras, mencionaban que sobre las lomadas arenosas existían dos procesos de formación de lagunas. Por un lado, las lagunas circulares aisladas asociadas a procesos pseudokársticos y por el otro, las formas alargadas asociadas a antiguos escurrimientos.

En contraposición a la idea de procesos pseudokársticos, se encuentra la hipótesis que en origen serían cubetas de deflación, siendo el trabajo de Margalef (1983) el primer antecedente encontrado al respecto. Más adelante volvería a ser destacado por Iriondo (1997 y 2012) quien hace mención de que las lagunas de la llanura chaco-pampeana serían el resultado de procesos deflatorios en períodos muy secos. En este sentido, el INTA, en el Atlas de Suelos de la provincia de Corrientes, hace mención a procesos deflatorios como posible origen de estos cuerpos de agua.

La determinación de los posibles orígenes de las lagunas, no forma parte de los objetivos centrales de esta investigación, por lo que se ha optado por presentarlo en el último capítulo, como una contribución al conocimiento a través de lo observado en campo o bien, lo detectado a través del uso de imágenes satelitales.

“La diferenciación de los elementos morfológicos fundamentales 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).

De allí la importancia de tomar conocimiento acerca de la totalidad, distribución, morfologías, morfometrías y las respuestas de las lagunas durante los ciclos húmedos y secos, ya que darán las claves para comprender los procesos que intervienen en la transformación del paisaje de lomadas arenosas.

Una manera de clasificar los cuerpos de agua, es mediante el análisis de sus formas y dimensiones. Dentro de las medidas morfométricas propuestas para diferenciar y clasificar cuerpos de agua, se encuentra el índice de *Desarrollo de la Línea de Costa* (D_L) que mide el grado de irregularidad de la costa. Esta variable que deriva del perímetro y de la superficie del cuerpo de agua, permite no solo dar cuenta de la forma de la laguna de

una manera cuantitativa, sino que a su vez permite establecer comparaciones, en este caso, entre lagunas de diferentes tamaños e incluso de una misma laguna entre los ciclos húmedos y secos. Estas variables permitirán corroborar empíricamente las descripciones cualitativas, frecuentemente consideradas como pequeñas lagunas circulares.

Valiéndonos de lo mencionado en un principio, al referirnos sobre los diferentes tipos de lagunas, y que a su vez pueden encontrarse muy próximos, espacialmente, entre sí, pueden presentar procesos geomorfológicos muy diferentes y en otros similares; al margen de poseer una génesis o dinámicas completamente diferenciadas. Es por ello que resulta de interés la comparación morfométrica con cuerpos de agua en ambientes hidrológicos cercanos y también pertenecientes a la cuenca del río Paraná.

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. Por tal motivo y de acuerdo con Pavlopoulos *et al.* (2009), el valor especial de la cartografía geomorfológica radica en su aplicación a problemas concretos, mediante el uso de mapas limitados que muestran sólo las características geomorfológicas relevantes a la cuestión particular que se estudia.

En este sentido, las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) y los sensores remotos brindan herramientas a los estudios geomorfológicos que sirven, ya sea como base en la interpretación de imágenes satelitales, como también en complejos análisis espaciales que sirven para comprender, y muchas veces fundamentar, la dinámica de los procesos interactuantes. En este caso, estos instrumentos facilitan la clasificación de formas y los procesos, que posteriormente pueden ser tenidos en cuenta al momento de diferenciar regiones entre sí o bien subclasificar al paisaje en cuestión.

Los SIG poseen técnicas de análisis espacial que se generan a partir de modelos digitales de elevación (MDE), los cuales “se han integrado ofreciendo una serie de aplicaciones y opciones de utilización como ser el análisis de las pendientes (porcentaje y orientación), efectos de iluminación, representaciones en 3D y otros”. (Barredo Cano y Bosque-Sendra, 1996).

“Actualmente los MDE constituyen una herramienta fundamental sobre todo en estudios para describir rasgos topográficos. Los MDE permiten de forma fácil la

representación de las formas del relieve, la producción de cortes transversales y la creación de animaciones en tres dimensiones" (Pérez Vega y Mas, 2009).

Respecto a la generación modelos de escurrimiento, por lo general son utilizados para el análisis de cuencas hidrográficas con contrastes topográficos muy marcados y cuyos resultados son precisos y se ajustan a la realidad. Su aplicación es de interés, ya que permitirá develar el grado de incidencia que posee la pendiente en la dinámica geomorfológica de las lagunas, como así también explicar las alineaciones que poseen sobre las lomadas.

Por último, si bien en esta Tesis los objetivos se encuentran mayoritariamente enfocados en estudios de Geografía Física, se pretende aplicar los conocimientos generados en resolver problemáticas asociadas al anegamiento urbano y periurbano de la región mediante el ordenamiento territorial y que a su vez contribuyan con la planificación urbana.

1.1 Objetivo general

- Establecer e interpretar la dinámica y evolución geomorfológica de las lagunas de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes, a fin de contribuir al conocimiento de las modificaciones paisajísticas acontecidas.

1.2 Objetivos particulares

- Relevar la totalidad de las lagunas actuales sobre las lomadas arenosas en Corrientes.
- Analizar las dinámicas morfológicas y reconocer etapas diferenciadas en la evolución de las lagunas de las lomadas arenosas, desde su conformación hasta su contacto con las planicies.
- Caracterizar los dinamismos naturales que inciden en los procesos geomorfológicos propios de las lagunas de las lomadas arenosas.
- Estudiar cuantitativamente la geomorfología de las lagunas mediante indicadores morfométricos.
- Cuantificar y clasificar, según sus valores de D_L , a las lagunas ubicadas en diferentes tramos de las lomadas arenosas.

- Generar modelos de escurrimientos en SIG que permitan validar la incidencia de la pendiente de las lomadas arenosas en las dinámicas geomorfológicas de las lagunas.
- Comparar y establecer similitudes y diferencias en las características evolutivas y morfométricas entre las lagunas de lomadas y las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio.
- Prever los posibles impactos, tanto actuales como potenciales, que pueden generarse por el dinamismo natural y/o la acción antrópica.

1.3 Hipótesis del trabajo



H1: El dinamismo geomorfológico de las lagunas de las lomadas arenosas se rige bajo un control morfológico condicionado por las pendientes propias del relieve y por lo tanto sus procesos son superficiales.

H2: Los valores del Desarrollo de la Línea de Costa no están relacionados directamente con las etapas de evolución de las lagunas, sino con el número de lagunas y el grado de conexión que existe entre ellas.

H3: Debido a que las lagunas son someras², que dependen de las precipitaciones y que están condicionadas por la pendiente del relieve, la morfología de dichas lagunas y, en consecuencia su morfometría, sufren grandes modificaciones en cortos períodos de tiempo, relacionadas con la alternancia entre los períodos húmedos y secos de la región.

H4: Debido a que las lagunas de las lomadas arenosas dependen exclusivamente de las precipitaciones, mientras que las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio se encuentran conectadas al curso principal en determinados períodos de tiempo; las características geomorfológicas (tanto cualitativas como cuantitativas) de las lagunas de las lomadas arenosas presentan marcadas diferencias con las lagunas del valle aluvial del Paraná.

² Poco profundas.

1.4. Metodología de trabajo

1.4.1. La metodología de trabajo y la visión desde la ecología del paisaje

El concepto de Ecología del paisaje es introducido por el geógrafo alemán Carl Troll, en 1939, al hacer mención de la interpretación científica de la fotografía aérea. En los últimos años este término ha cobrado un éxito creciente entre geobotánicos, botánicos, limnólogos y pedólogos, en particular dentro del lenguaje de la planificación del paisaje y de la protección de la naturaleza. Este mismo autor, en 1950 definía al paisaje geográfico como “*una parte de la superficie terrestre con una unidad de espacio que, por su imagen exterior y por la actuación conjunta de sus fenómenos, al igual que las relaciones de posiciones interiores y exteriores, tiene un carácter específico, y que se distingue de otros por fronteras geográficas y naturales*” (Bocco, 2003: 72).

“*Uno de los principales objetivos de la Ecología del Paisaje, es el estudio de los efectos recíprocos entre el patrón espacial y los procesos ecológicos que se manifiestan a escala de paisaje*”. (Moizo Marrubio, 2004: 2). En este sentido la cuantificación de los elementos que lo componen es un punto de partida para 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 y Gardner, 1991; Matteucci, 1998; Moizo Marrubio, 2004).

La Ecología del Paisaje estudia al territorio a diferentes escalas y de forma integrada. Es por ello que en su estudio es importante considerar las relaciones existentes entre los elementos, ya que la estructura de un sistema está formada tanto por sus determinadas características, como por las relaciones entre los mismos. En este sentido, la Ecología del Paisaje se caracteriza por dar mayor relevancia a los procesos que, en la escala espacial y temporal, relacionan a los factores (vegetación, fauna, suelo, agua, actividades antrópicas, etc.) y a los componentes del paisaje; que a las características intrínsecas de los factores y componentes por sí 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 y Lozano Valencia, 2008).

Al estudiar los patrones estructurales del paisaje, es decir, la disposición y características espaciales de los elementos que lo conforman, se pretende 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, 2005; Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2008).

“La Ecología del Paisaje, para obtener una visión completa del objeto de estudio, se nutre de métodos, conceptos y aplicaciones de diferentes disciplinas, de forma que, más allá del sumatorio de los diferentes enfoques, adopta una visión integrada y holística. Para comprender la dimensión transdisciplinaria de la Ecología del Paisaje, dentro de la temática de las relaciones que se establecen entre la estructura del paisaje y la dinámica de poblaciones y comunidades biológicas, es preciso tener en cuenta diversos aspectos” (Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2008: 535).

Para Vila *et al.*, (2006), en la actualidad se puede afirmar que estos estudios, a grandes rasgos, son un enfoque científico de carácter transdisciplinario pero con aportes especialmente de la geografía y la ecología, basándose en la adopción de algunos principios y conceptos propios de la ecología para el estudio del paisaje a partir de un análisis eminentemente geográfico que destaca la variabilidad espacial, escalar y temporal que requiere este tipo de estudios.

1.4.2. Metodología para el estudio de la distribución, clasificación y evolución de lagunas de lomadas arenosas

En este estudio se considera que la distribución de las lagunas constituyen la base de la investigación, motivo por el cual, en primer lugar se han digitalizado las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina), ya que constituyen el límite de nuestra área de estudio. En un paso siguiente se han digitalizado las lagunas ubicadas dentro de ellas.

La digitalización consistió en la generación de 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*. A fin de delimitar las cubetas con la mayor precisión posible, para la generación de los polígonos se utilizó una la altura del ojo que no superara los 100 m. Se recurrió a la utilización de las imágenes de alta definición suministradas por este software y no imágenes de Landsat ya que estas

últimas poseen un pixel de 30 m, por lo que un gran número de lagunas, como así también sus perímetros, no eran claramente identificables.

El mecanismo de origen y la dinámica evolutiva de las lagunas de las lomadas arenosas fue analizado y propuesto a partir de imágenes obtenidas con el software Google Earth, sin embargo se utilizaron imágenes de los satélites Landsat 5, 7 y 8; a fin de observar cambios temporales dentro de la región, a modo de suplir la falta de imágenes como en un mismo período.

Aunque la digitalización manual de las lagunas puede generar errores en los valores de perímetro y superficie, los mismos no son significativos ya que las diferencias son mínimas. Para ello se seleccionaron lagunas representativas a cada categoría y se tomaron medidas en campo mediante el uso del GPS. En todos los casos, la diferencias de perímetro y superficie no superaba el 3% de error.

Si bien los mosaicos de imágenes utilizadas no corresponden a un mismo momento, para la digitalización de las lagunas se tuvo en cuenta la totalidad de la cubeta y no su porción con agua o limnética, a fin de evitar que los cambios morfométricos ocurridos entre los períodos húmedos y secos no influyan en los resultados (Figura 2).

Para dar a conocer las diferencias entre una digitalización manual y una automática, se generó una Composición de Bandas RGB 1-4-5 de dos escenas imágenes del satélite LANDSAT 5 TM Path/Row 226/079 en ArcGIS 10.1. La primera escena con fecha 21/04/1999 (período húmedo) y la segunda en 9/10/2009 (período seco).

Posteriormente se realizó una clasificación no supervisada de las escenas mediante las herramientas de análisis espacial *Iso Cluster Unsupervised Classification* delimitando los cuerpos de agua ubicados sobre las lomadas arenosas. En un paso siguiente se procedió a vectorizarlos, calculando el Perímetro y la Superficie de cada laguna en la proyección *WGS 1984 UTM Zona 21 S*.

Figura 2

Delimitación de la cubeta de una laguna (Bella Vista, Corrientes). Fecha: 17/07/2012



Fuente: Google Earth. 28° 32' 24" S y 58° 59' 40" O

Un criterio importante a tener en cuenta a la hora de digitalizar las lagunas, fue que no estuvieran conectadas con la planicie/esteros circundantes (Figura 3). La importancia de esta discriminación se fundamenta en que las lagunas dependen de las precipitaciones locales y del paisaje de lomadas arenosas que las rodean, otorgándoles características propias. Sin embargo, respecto a las lagunas que poseen conexiones directas con la planicie, si bien no dejan de ser lagunas consideramos que las funcionalidades relacionadas con las respuestas a los períodos húmedos y secos, las características fisicoquímicas de sus aguas, el ingreso de nutrientes, la diversidad de las comunidades acuáticas, etc.; actuarían como un ecotono entre el paisaje de lomadas arenosas y el paisaje de esteros. No obstante fueron consideradas en las etapas de evolución propuestas, ya que entendemos que poseen un rol fundamental en la configuración del paisaje.

Figura 3
Delimitación entre una lomada arenosa y los esteros circundantes. Departamento San Cosme (Corrientes)



Fuente: Google Earth. 27° 23' 23" S y 58° 20'31" O

En la cartografía generada se representaron y cuantificaron los distintos cuerpos de agua de acuerdo con su diámetro y su capacidad de retención. A partir de la información obtenida de este análisis, se realizó una clasificación de los cuerpos de agua en función de sus diferentes grados de evolución.

En una segunda instancia, en función del MDE del área de estudio, se emplearon las funciones de análisis espacial disponible en ArcGis 10.1, Global Mapper 15.1 y SAGA GIS 2.2. De esta manera, se calculó el porcentaje de la pendiente sobre las lomadas; se estableció la dirección de la pendiente; se generó un modelo de escurrimiento superficial y se delimitaron las subcuenca dentro de las lomadas. Los resultados obtenidos permiten clasificar a las lagunas según la subcuenca a la cual pertenecen, mientras que el modelo de escurrimiento permite explicar los distintos alineamientos en cada subcuenca. Mediante el software MICRODEM se realizaron gráficos que describen la frecuencia de alturas y dirección de las principales lomadas arenosas.

1.4.3. Análisis y comparación morfométrica

Una vez digitalizados los cuerpos de agua lenticos existentes sobre las lomadas, y con el objeto de establecer parámetros para una caracterización morfométrica, se calcularon el perímetro, la superficie y posteriormente el Desarrollo de la Línea de Costa (D_L) de cada una de las lagunas, empleando el programa ArcGis 10.1.

El cálculo de D_L se realizó mediante la siguiente fórmula:

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

Se clasificó a las lagunas según sus valores de D_L en *Circulares* (1 - 1,14), *Subcirculares* (1,15 - 1,29), *Triangulares* (1,3 - 1,99), *Irregulares Simples* (2 - 2,99), *Dendríticas* (3 - 3,99) e *Irregulares Complejas* (≥ 4).

A partir de los valores de D_L se generaron histogramas en Excel, a fin de comparar los resultados obtenidos con las clasificaciones propuestas por Timms (1992), Paire y Drago (2007) y Contreras (2011). Se propone una nueva clasificación que se adapta a la situación observada sobre las lomadas.

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 Bartlet 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 en lomadas arenosas 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 38.926 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 las lomadas según los resultados obtenidos del análisis multivariado PCA.

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

1.4.4. Generación de modelos digitales de escurrimiento y anegamiento.

Se obtuvo una imagen del MDE que sirvió de base para el análisis espacial empleando el programa Global Mapper 15.1. Para dicho análisis se realizaron las correcciones del MDE por medio de la herramienta Fill del software ArcGis 10.1. Posteriormente, se generó un mapa a partir de los valores porcentuales de las pendientes evaluadas, que fueron reclasificadas en menores y mayores del 3%, ya que se considera que a partir del 3% de pendiente aumenta el umbral de escurrimiento (España, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1990). Luego, se calculó la dirección y la acumulación de flujo, lo que permitió generar una cartografía con la dirección del escurrimiento superficial y con las subcuenca de las lomadas arenosas.

Los resultados obtenidos del modelo de escurrimiento generado con la aplicación *Stream to feature* de la función Hidrology dentro Spatial Analyst de ArcGIS 10.1, fueron comparados con las imágenes de Google Earth.

Por último, se superpuso la capa que contiene las lagunas de las lomadas con la capa de las subcuenca, a fin de analizar y clasificar a las lagunas según la subcuenca a la cual correspondan.

1.4.5. Análisis de concentraciones de Hierro

Sólo a fines exploratorios y para corroborar la presencia de hierro en el agua, se tomaron cinco muestras, de las cuales tres corresponden al área limnética de lagunas, una al agua proveniente de la falsa napa de una perforación realizada con barreno previa a la presencia de precipitaciones y una del agua de la falsa napa un día después de la lluvia, en lagunas ubicadas en la lomada Norte.

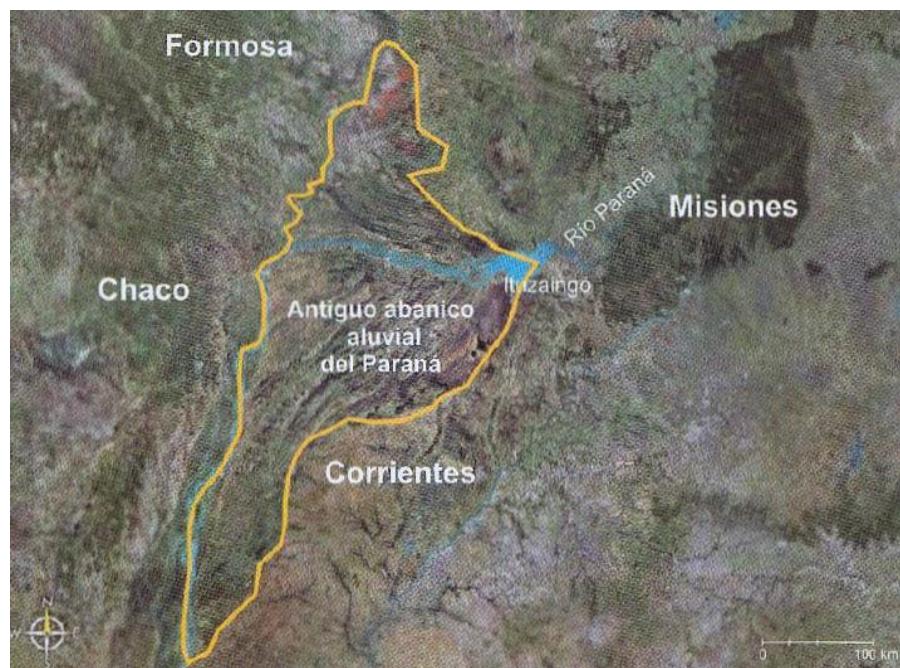
La determinación de Hierro Total la realizó el Grupo de Investigación y Servicios a Terceros en el Área Química, de la Universidad Tecnológica Nacional, empleando el método HACH, adaptado de Standard Methods.

Capítulo 1

Configuración del paisaje de la región de lomadas arenosas

El río Paraná ingresa a la planicie mesopotámica generando un gran abanico aluvial o mega abanico, que se extiende 260 Km de E a O y 500 Km de N a S, ocupando el sur del Paraguay y el noroeste de la provincia de Corrientes (Figura 4). Durante el Cuaternario Superior, el 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 (Iriondo y Paire, 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 del terreno desencadenando cambios en el diseño de escurrimiento de las aguas superficiales Orfeo y Neiff, (2008). Así, el cauce del Paraná fue desplazándose paulatinamente hacia el noroeste hasta ocupar su actual posición a fines del Pleistoceno.

Figura 4
Ubicación del mega abanico aluvial del río Paraná



Fuente: Orfeo y Neiff, (2008). 27° 05' 41" S y 58° 02' 57" O

Un abanico aluvial corresponde a una acumulación en forma de conoide de materiales clásticos, situadas aguas abajo de una ruptura de pendiente y que se ha generado como consecuencia de la pérdida de encajamiento del canal principal alimentador del sistema fluvial (Colombo, 2010b).

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 y Neiff, 2008). El paso del río Paraná a través de la región del Iberá quedó grabado en la traza de antiguos cauces abandonados constituidos por sedimentos pliocenos correspondientes a la Formación (Fm) Ituzaingó. La misma, está constituida por areniscas cuarzosas medianas, ocasionalmente gruesas y hasta conglomerádicas, de colores amarillo a pardo rojizo, deleznables a consolidadas y con clara estratificación entrecruzada típica de corrientes fluviales. Estos depósitos indican que el antiguo curso fluvial se comportó como un río arenoso y entrelazado debido al efecto de antiguas barras transversales (Jalfin, 1988), similares a las que se desarrollan actualmente (Orfeo, 1996). 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), fueron rápidamente colonizadas por bivalvos dulceacuícolas y vegetación de escaso porte (Morton y Jalfin, 1987).

En la provincia de Corrientes, el paleoabanco fluvial del Paraná comprende tres regiones fisiográficas de acuerdo con la clasificación fisiográfica de Bruniard (1966)³. (Figura 5)

1) El *Triángulo de la Capital*, en el cual se encuentra la mayoría de las lomadas arenosas. Limita al norte y oeste con el río Paraná y hacia el este con una línea que sigue aproximadamente el estero Santa Lucía y el río del mismo nombre. Este marco circscribe una región de relieve chato y suaves pendientes al oeste y sudoeste, en las secciones norte y sur respectivamente, como lo evidencia la red hidrográfica. La altura media general se ubica alrededor de los de 70 m, a excepción de zonas particularmente

³ La clasificación fisiográfica de la provincia de Corrientes propuesta por Bruniard (1966), constituye la base sobre las cuales se ha confeccionado el *Atlas Geográfico de la Provincia de Corrientes* perteneciente al Instituto de Geografía de la Facultad de Humanidades de la UNNE. En la actualidad continúa en vigencia como punto de partida de investigaciones y en la generación de cartografía temática referida a las características del paisaje correntino y en las relaciones hombre - naturaleza. La siguiente descripción responde, básicamente, al autor mencionado.

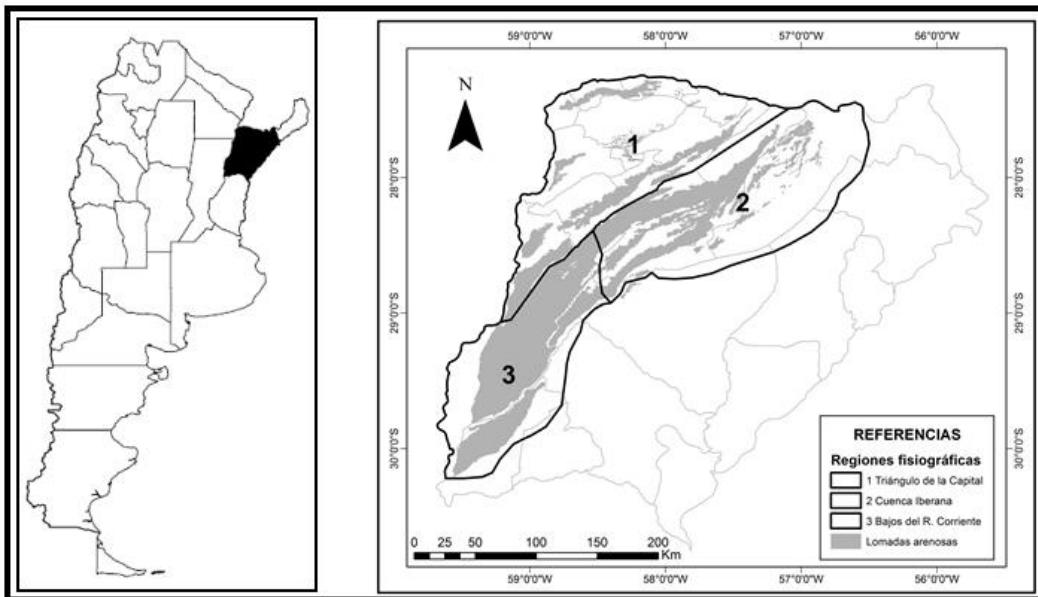
bajas. El paisaje se caracteriza por una ondulación impuesta por suaves lomadas de arenas puelchenses y valles sobre gredas araucanas por donde se abrieran paso los antiguos brazos del Paraná. Estos valles canalizan los excesos de agua hacia el colector principal dando lugar a esteros en los cursos superiores y a valles más definidos en los tramos inferiores, hacia la alta barranca del Paraná. Las lomadas alcanzan una altura de cinco m con respecto al plano circundante y actúan como interfluvios que orientan los cursos de agua con un marcado paralelismo hasta el suroeste. Dichos cursos remontan sus cabeceras hacia el centro de la provincia captando las aguas de los esteros de la región plana del interior. En todos ellos es posible reconocer dos secciones diferenciadas, una superior constituida por esteros, bañados y lagunas y una inferior de cursos definidos y cuencas estrechas que a medida que se acercan al Paraná profundizan su cauce. Por otra parte, si bien este régión se caracteriza por la presencia de lomadas arenosas, presenta un reducido número de ellas, con lo cual no es el paisaje predominante.

2) La *Cuenca Iberana*, se define hacia el este por una angosta franja de formaciones medanosas que la separan de la cuenca del Aguapeí. El límite sur es más preciso debido a la presencia de las alturas del Paiubre, mientras que hacia el oeste el estero del Santa Lucía, constituyen una transición entre las condiciones típicamente iberanas y las del triángulo de la Capital. La Cuenca Iberana presenta una morfología simple, sin marcados contrastes de altura (60 m de altura media), con escasa pendiente hacia el sudoeste lo que provoca el derrame y alargamiento de los innumerables cuerpos de agua (esteros, bañados, lagunas y cursos fluviales) que a manera de canales internos recorren la cuenca abriéndose paso hacia el río Corriente. Los esteros dominan el paisaje y se caracterizan por su fondo plano, arcilloso o arenoso, con una profundidad media de dos metros, bajo una vegetación acuática densa. Las *lagunas*, apoyadas principalmente en el flanco oriental del sistema, tienen perfil de bandeja de contornos regulares con formas elípticas, redondeadas o con lóbulos marcados. Su mayor profundidad (hasta 4 m) las mantiene libres de vegetación, manifestándose en el paisaje sólo por esta circunstancia. Los *canales* recorren la cuenca de noreste a sudoeste y presentan lechos de finas arenas con profundidades intermedias (hasta 3 m) aún en épocas de sequía, cuando aparecen sobre la superficie del espejo de agua los albardones arenosos que multiplican la cantidad de esteros. En forma dispersa, numerosas islas permanentes refugian la vegetación arbórea que contribuye a la fijación. Bajo el clima húmedo, la cuenca iberana constituye un ecotono entre la selva misionera, el monte entrerriano y el parque chaqueño, a cuyos representantes se agregan especies acuáticas diversas. Los

esteros están poblados por pajonales de paja brava, especialmente en las zonas menos profundas, totoras y juncos. En suma, estamos frente a un paisaje palustre subtropical que constituye una enorme valla central para las comunicaciones internas de la provincia, alternando en su parte occidental con algunas lomadas de arena que sirven de asiento permanente para el hombre y para el desarrollo de escasas actividades económicas, de acuerdo con las posibilidades que brinda la naturaleza de la región.

Los *Bajos del río Corriente*, situados en el ángulo sudoeste de la provincia, están separados de la meseta del Paiubre por una línea que une aproximadamente las localidades de Sauce, Perugorría y Chavarría. El relieve es semejante al del triángulo de la Capital aunque difiere en la disposición y desarrollo de las lomadas. Aquí se dirigen en sentido casi meridiano, son algo más chatas y alcanzan gran desarrollo horizontal por lo que se disimulan como verdaderas lomadas. Se trata de dorsos arenosos, restos de un aparato de deltación, que hacia el norte separan las aguas del Santa Lucía y el Batel y en el sur definen los cursos del Sarandí, Barrancas y Guayquiraró. En el conjunto regional se distinguen tres franjas meridianas, una central de lomadas arenosas y dos laterales más bajas. La del oriente coincide con un brusco cambio de pendiente entre las tierras altas del Paiubre y los bañados del Corriente y Sarandí. Las praderas de *Paspalum*, *Andropogon* y *Stipa* se extienden sobre las lomadas, a veces invadidas por isletas arbóreas, y hacia los bajos laterales el pajonal de espartillo amargo y de pasto colorado es reemplazado a su vez por *Paspalum guaraniticum* en los sectores deprimidos donde temporalmente se estancan las aguas. La región de los bajos del río Corriente está vertebrada sobre las lomadas arenosas centrales que dificultosamente vinculan los extremos norte y sur, mientras que el aislamiento es total con respecto a la ribera activa del Paraná y al Paiubre vecino.

Figura 5
Distribución de las lomadas arenosas y delimitación de las regiones fisiográficas



Fuente: Elaboración personal en base a Bruniard (1966)

Por otra parte, Popolizio (1970), incluye al mega abanico aluvial del río Paraná dentro de la región de “Lomas y Esteros Correntinos” que limita hacia el Este con los Esteros del Iberá y río Corriente y señala también que la misma se encuentra constituida por lomas arenosas dispuestas en abanico con centro aproximado en Posadas (Misiones) y que se extiende hacia el Norte hasta los Esteros del Ñeembucú (Paraguay). Posteriormente Popolizio (1985), renombra a la región “Lomas y Planicies Embutidas”⁴, trasladando el vértice de inicio a la localización de la ciudad de Ituzaingó (Corrientes).

Por lo antes expuesto y para tomar posición frente a ambos autores, de aquí en adelante se hará referencia a la región de “Lomadas Arenosas”, como la región que contiene a las lagunas estudiadas.

⁴ Planicies embutidas. Se extienden entre las lomas sobre sedimentos cuaternarios, con vegetación de sabana en su mayoría inundable y ambiente de típicas cañadas y esteros. Las cuencas limitadas por las lomas, presentan en general tres sectores, de los cuales sólo el final representa un curso fluvial o cárcava por donde escurren las aguas. Los sectores medio y superior presentan gran dificultad de avenamiento y están sometidos a inundaciones estacionales. (Popolizio, 1985)

2.1. Aplicación de modelos digitales de elevación y análisis espacial de la región de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes

La palabra modelo, en términos geográficos, alude a “*una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades*” (Joly, 1988:111); que según Felicísimo (1999: 3), de esta definición “*se deduce que la versión de la realidad que se realiza a través de un modelo pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que, por lo tanto, se ve representado por otro objeto de menor complejidad*”.

Bajo esa idea, los Modelos Digitales del Terreno (MDT) se han definido (Doyle, 1978:1481) “*como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio*”. Se incluyen, según Felicísimo (1999), en la categoría de *modelos simbólicos*⁵ (Turner, 1970:364) donde las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto tienen la forma de algoritmos o formalismos matemáticos. En este caso, los MDT presentan algunas ventajas sobre el resto de los modelos, derivadas de su naturaleza numérica: no ambigüedad, posibilidad de modelización de procesos con una deducción estricta, verificabilidad y repetitividad de los resultados.

Sin embargo, Felicísimo (1999:5), menciona que la definición de Doyle (1978) es ambigua y define a los MDT como “*una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua*”.

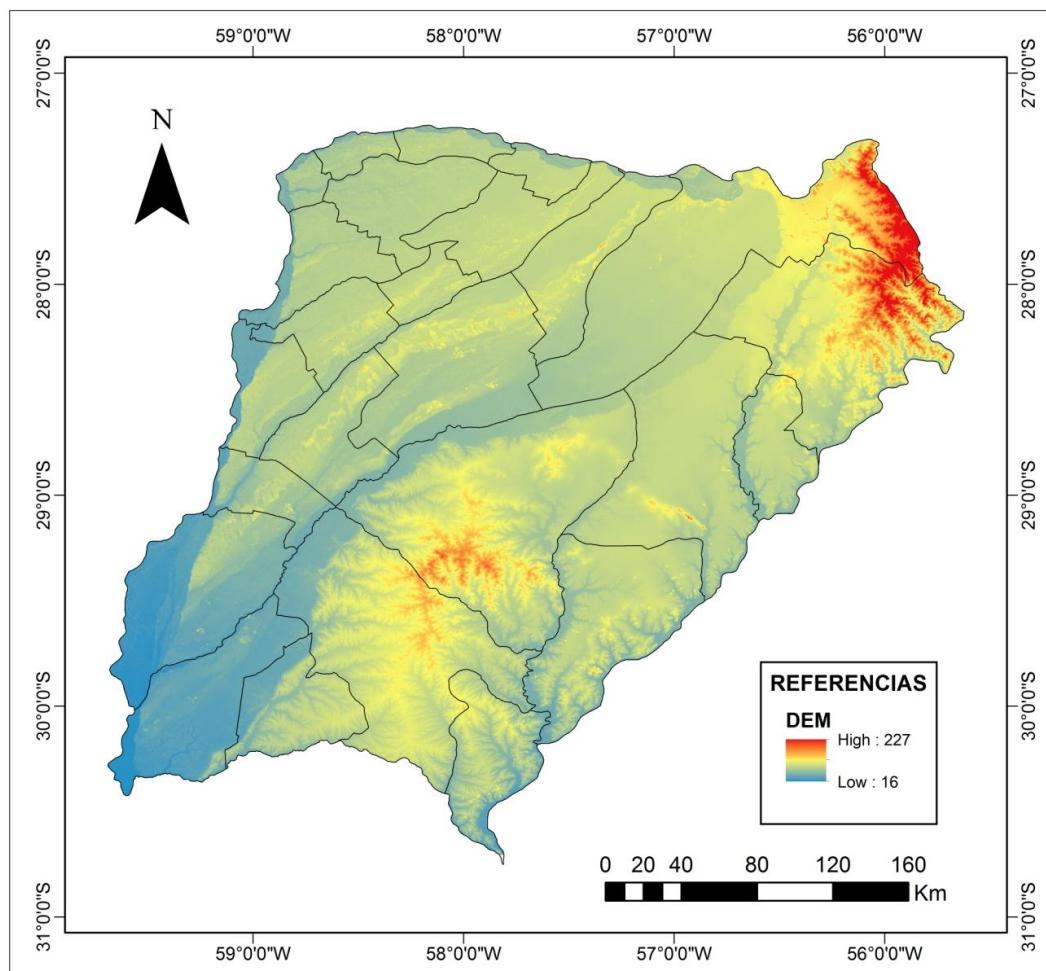
Dentro de los MDT, el modelo digital de elevaciones (MDE), es uno de los más representativos, ya que según Felicísimo (1999:5), describe la altimetría de un lugar mediante una serie de datos acotados, que sirven de base para construir un conjunto de modelos derivados, elaborados a partir de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE. “*Los modelos derivados más sencillos pueden construirse exclusivamente con la información del MDE y reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación, etc.)*”.

⁵ En los *modelos simbólicos* se llega a un nivel superior de abstracción ya que el objeto real queda representado mediante una simbolización matemática (geométrica, estadística, etc.).

Para generar un MDE, mediante el software Global Mapper 15.1, se ha descargado la imagen Shuttle Radar Topography Mission (SRTM por sus siglas en inglés) de 3 arcos por segundo (resolución de 90 m) de la provincia de Corrientes. Posteriormente fue exportada como un archivo ráster en formato GeoTIFF, para luego ser analizada mediante los software ArcGIS 10.1 y SAGA GIS 2.2.

Los resultados del MDE a partir de imágenes SRTM de la provincia de Corrientes se pueden observar en la figura 6.

Figura 6
Modelo Digital de Elevaciones de la Provincia de Corrientes (Argentina)



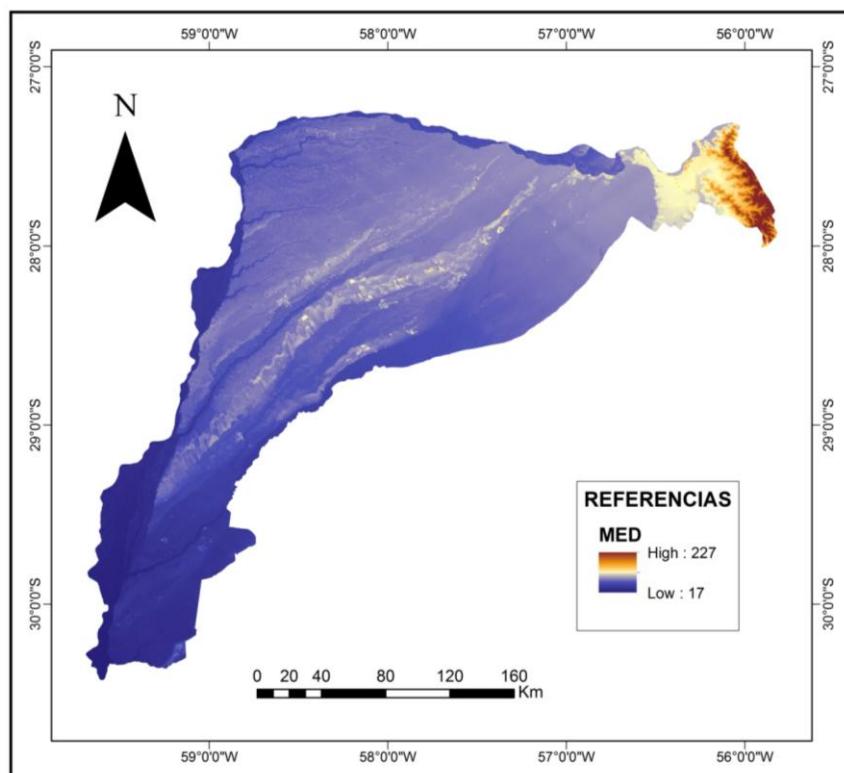
Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

En esta figura se observa la topografía de la provincia de Corrientes, detectando con claridad la porción oriental elevada y la occidental deprimida. Sobre el extremo NE se

aprecian las mayores alturas de la provincia, las cuales son una prolongación de la Sierra del Imán (Misiones), la cual recibe el nombre de Meseta de San Carlos al ingresar en Corrientes. Entre los cursos de los ríos Aguapey y Miriñay se observa la región fisiográfica de Malezales; descripta por Bruniard (1966) como esteros sobrelevados, pero que sin embargo permiten identificar a los *Tres Cerros* ubicados en el Departamento de San Martín. Sobre el Centro y Sur de la provincia se ubica la “Meseta Mercedeña o del Paiubre”, fácilmente identificable por los avanzados procesos de erosión hídrica observados en la figura 6. Cabe destacar que estas regiones son las más antiguas de la provincia de Corrientes.

Haciendo un recorte en el área de estudio (Figura 7), se puede observar como la Región de Lomadas Arenosas posee una alineación NE – SO y la rugosidad del relieve permiten identificarlas fácilmente del terreno circundante, más liso u homogéneo, correspondiente a un paisaje de esteros, como es el caso del Iberá. A su vez se observan los paleocauces del río Paraná y que en la actualidad actúan como cursos autóctonos con nacientes en distintos esteros.

Figura 7
Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio

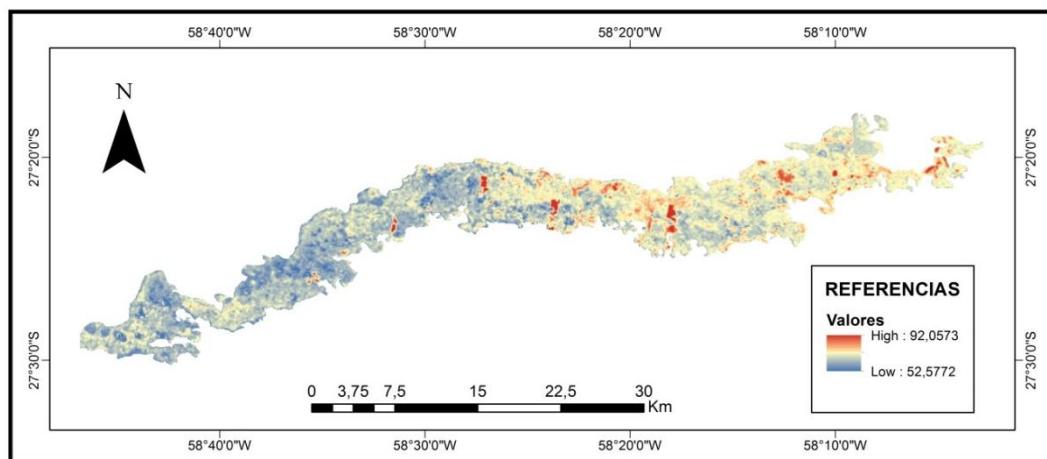


Fuente: Elaboración personal imágenes en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

Las lomadas, principalmente las de mayor extensión y con dirección NE – SO, son más angostas en las cabeceras y se van ensanchando hacia la zona distal del mega abanico aluvial del río Paraná. Según Colombia (2010b: 162), “en la mayoría de los casos, cuando la génesis de los abanicos es policíclica, es decir sus materiales han sido trabajados repetidas veces, es la zona del cuerpo y sobre todo la zona del pie del abanico, las que adquieran un desarrollo muy notable”.

Se aplicó el MDE de la Lomada Norte de la figura 8, se observa como las alturas van disminuyendo desde el vértice hacia la base, patrón que se repite en las demás lomadas arenosas, lo cual es una característica común en los abanicos aluviales. Por otra parte, los sectores aislados más elevados corresponden a la presencia de forestaciones o isletas boscosas, ya que las imágenes SRTM las considera como alturas del terreno.

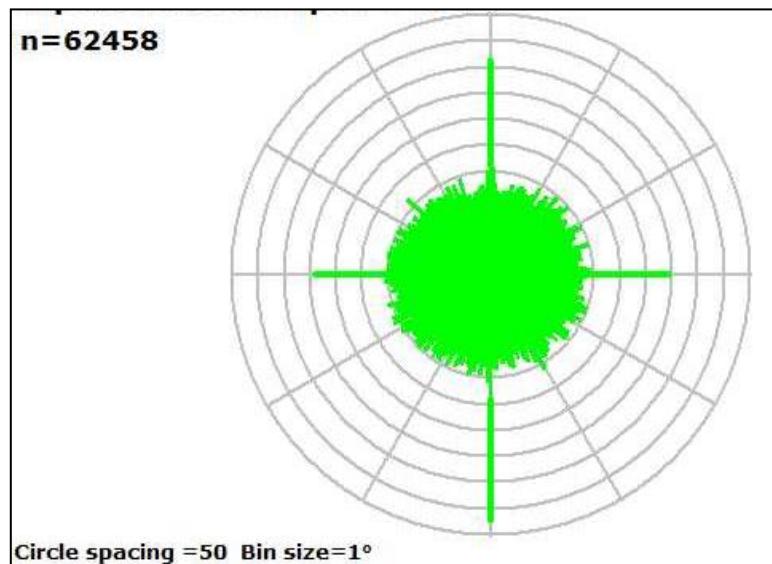
Figura 8
Modelo Digital de Elevaciones de la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

La figura 9 muestra la dirección de la pendiente de la Lomada Norte analizada por 62.458 píxeles. Se observa como si bien se presentan direcciones en todos los sentidos, existe una tendencia de la pendiente general hacia el O. No obstante, cuando se distribuyen los resultados en cuatro direcciones (N, S, E y O), se evidencia un amplio predominio de las pendientes hacia el S y N, lo cual era de esperarse, ya que la dirección general de la Lomada Norte es E – O y sus pendientes van perpendiculares a ella.

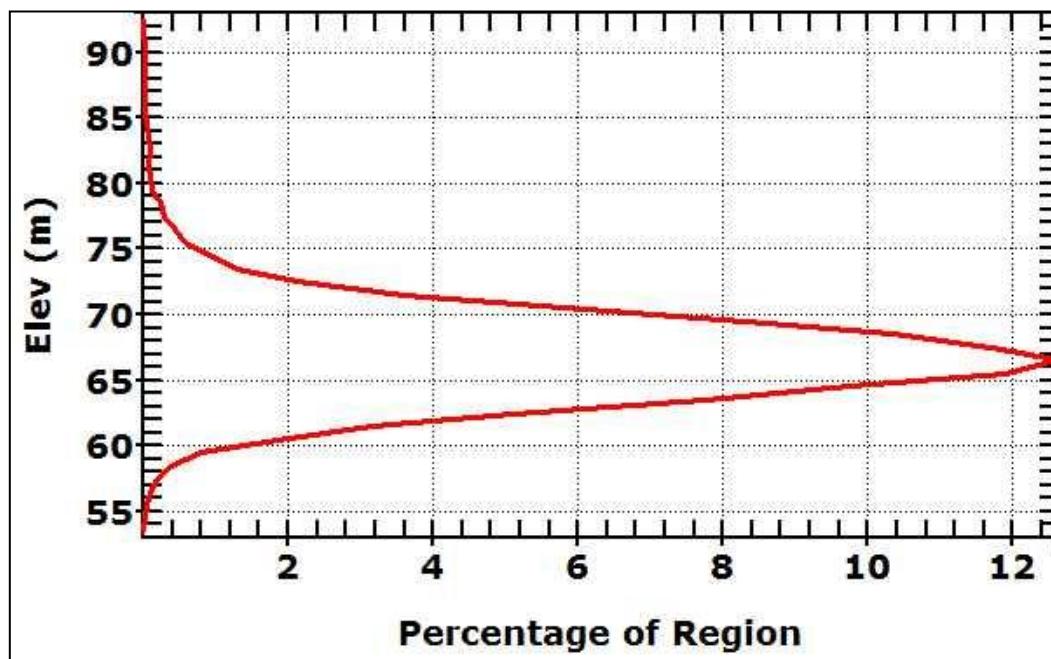
Figura 9
Dirección de la pendiente en la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

Por otra parte, en el gráfico de elevaciones de la figura 10, se observa que el 12% de la superficie de la Lomada Norte posee una altura de 66,5 m.

Figura 10
Porcentaje de las alturas de la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)



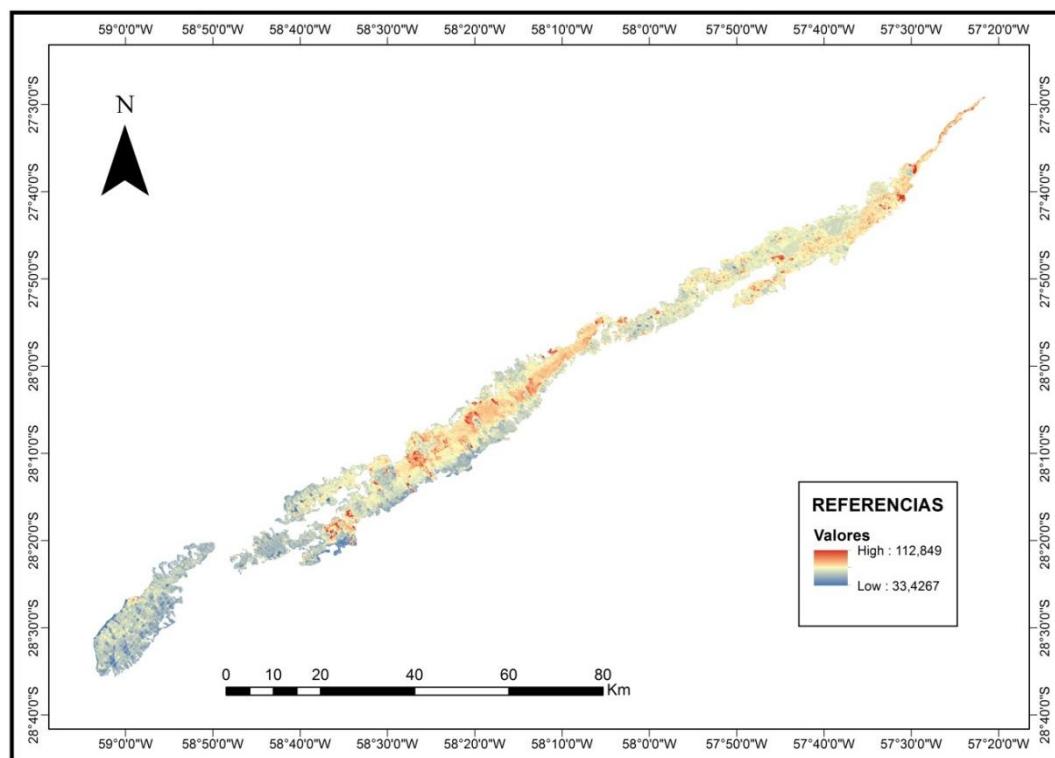
Fuente: Elaboración personal

En el MDE de la lomada General Paz – Bella Vista (Figura 11) se observa como las alturas van disminuyendo de desde el vértice (extremo NE) a la base (extremo SO). También son notorias las diferencias entre el dentro de la lomada y sus bordes, siendo más alto el primero evidenciando la superficie convexa del paisaje.

La Figura 12 muestra la dirección de la pendiente basada en 233.319 píxeles, revelan lo antes dicho, ya que existe un predominio de las pendientes perpendiculares a la dirección de la lomada. Sin embargo, comparándola con la Lomada Norte, esta presenta mayores elevaciones relativas, ya que el 12% de la superficie posee 71 m, casi 5 m por encima de la primera (Figura 13).

Figura 11

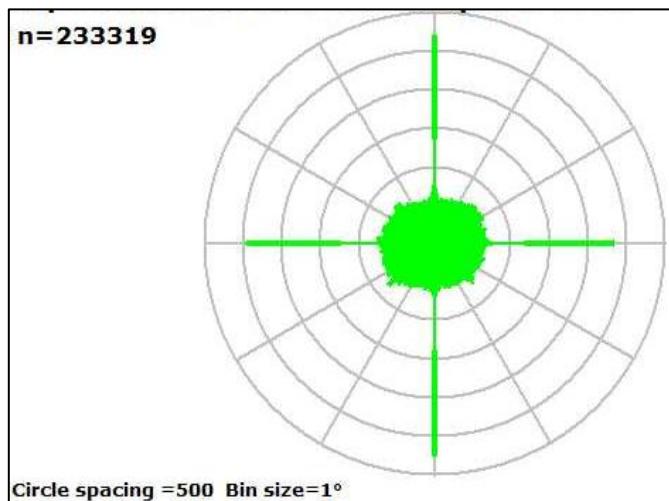
Modelo Digital de Elevaciones de la lomada General Paz – Bella Vista (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

Figura 12

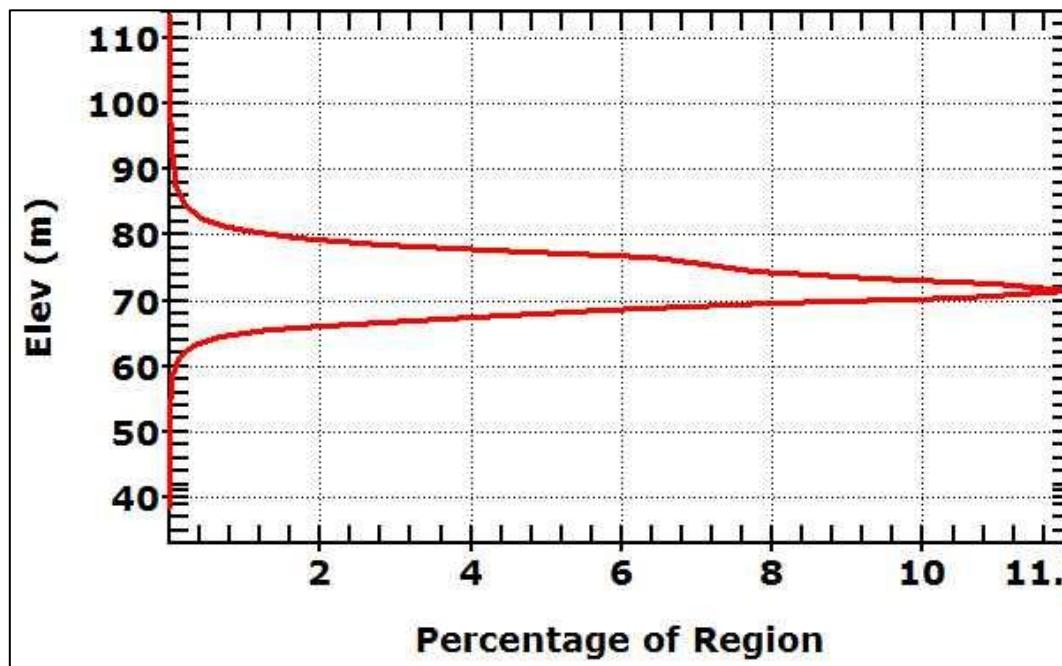
Dirección de la pendiente de la lomada General Paz – Bella Vista (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

Figura 13

Porcentaje de las alturas de la lomada General Paz – Bella Vista (Corrientes, Argentina)

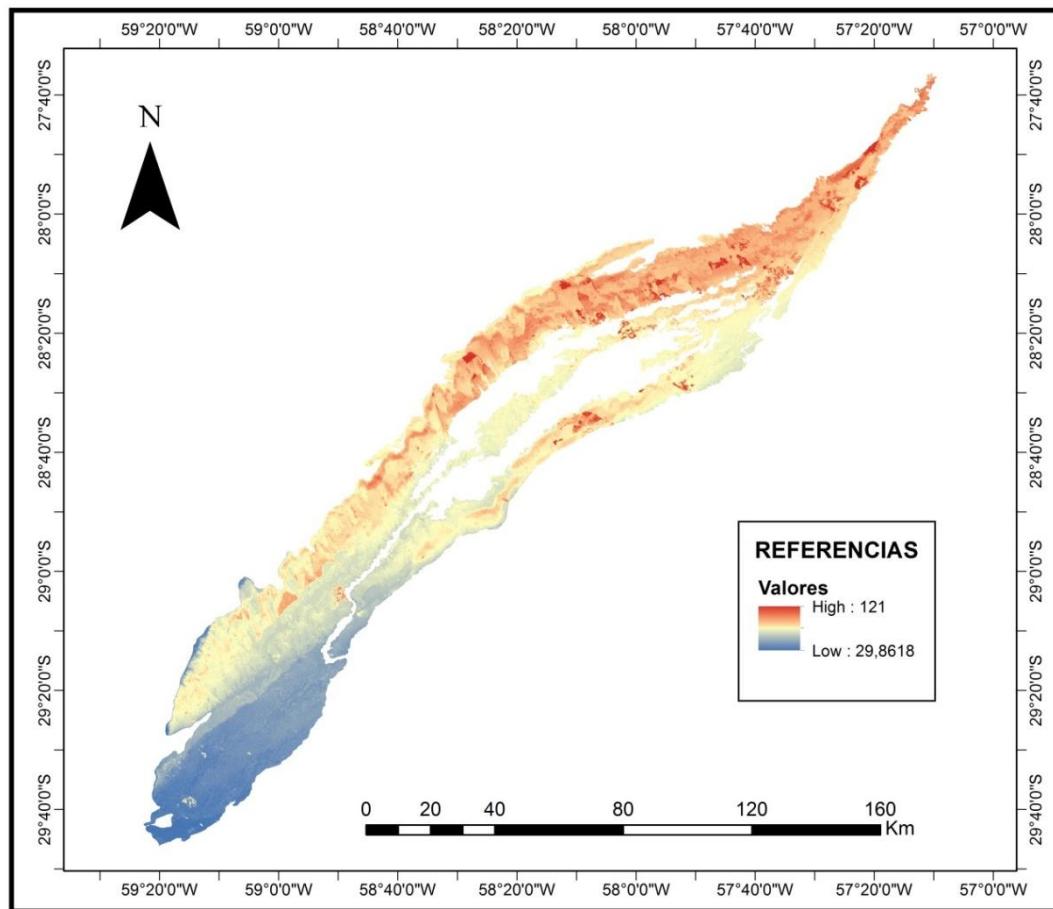


Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

La figura 14 correspondiente a la lomada San Miguel – Goya, demuestra como las alturas a lo largo de la lomada van disminuyendo de desde el vértice (extremo NE) a la

base (extremo SO). Se observa así mismo el efecto de la erosión hídrica sobre esta lomada y dos paleocauces centrales que convergen en un único curso.

Figura 14
Modelo Digital de Elevaciones de la lomada San Miguel – Goya (Corrientes, Argentina)

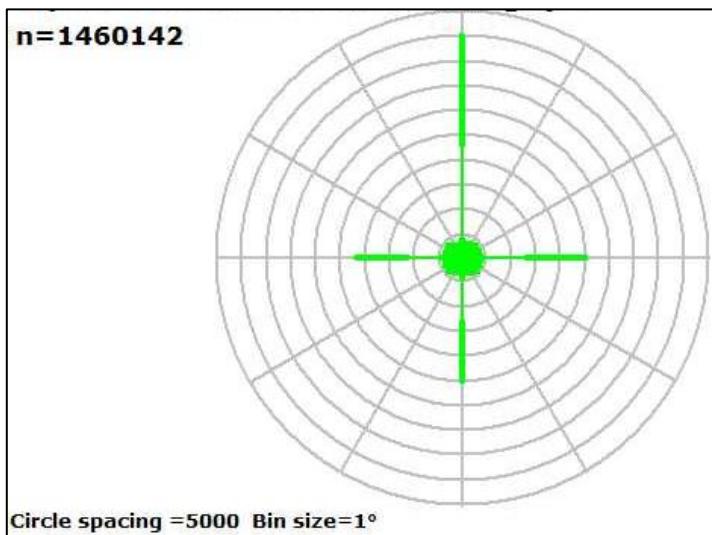


Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

La figura 15 muestra la dirección de la pendiente basada en 1.460.142 píxeles y revela que existe un fuerte predominio de la dirección de la pendiente hacia el N pero aún así existen pendientes perpendiculares a la dirección de la lomada. No obstante, en la figura 16, donde se observan los porcentajes de las alturas de la lomada, si bien existe un claro predominio de 64 m, solo representa un 5% de la superficie, no tan marcado como los casos anteriores, donde la principal altura representaba un 12%; demostrando la homogeneización del paisaje, con tendencia a ser más plano. Por otra parte se observan diversos picos de menor importancia, posiblemente asociados a la erosión fluvial y a la presencia de los paleocauces centrales.

Figura 15

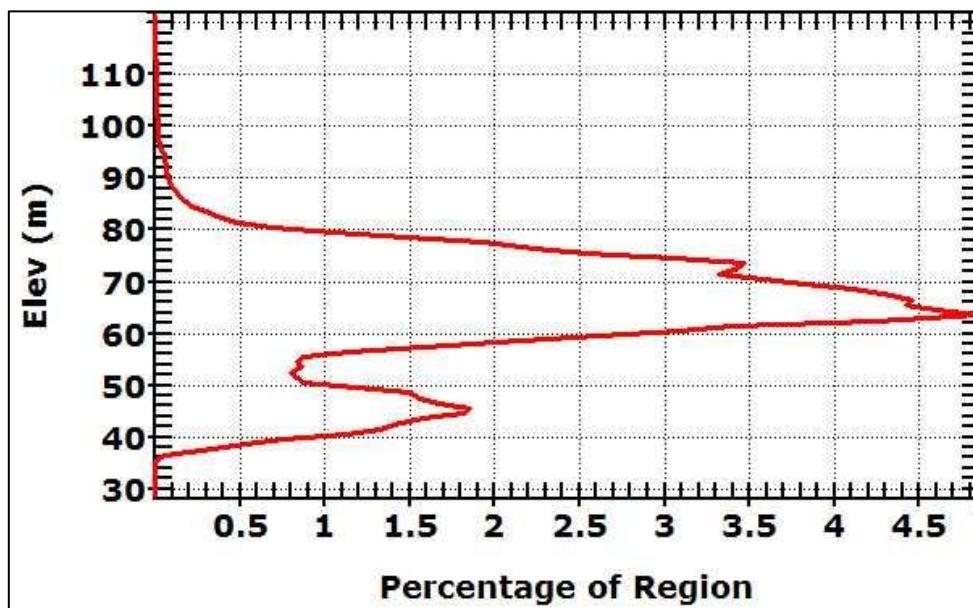
Dirección de la pendiente de la lomada San Miguel – Goya (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

Figura 16

Porcentaje de las alturas de la lomada San Miguel – Goya (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes SRTM (3 arcos por segundo)

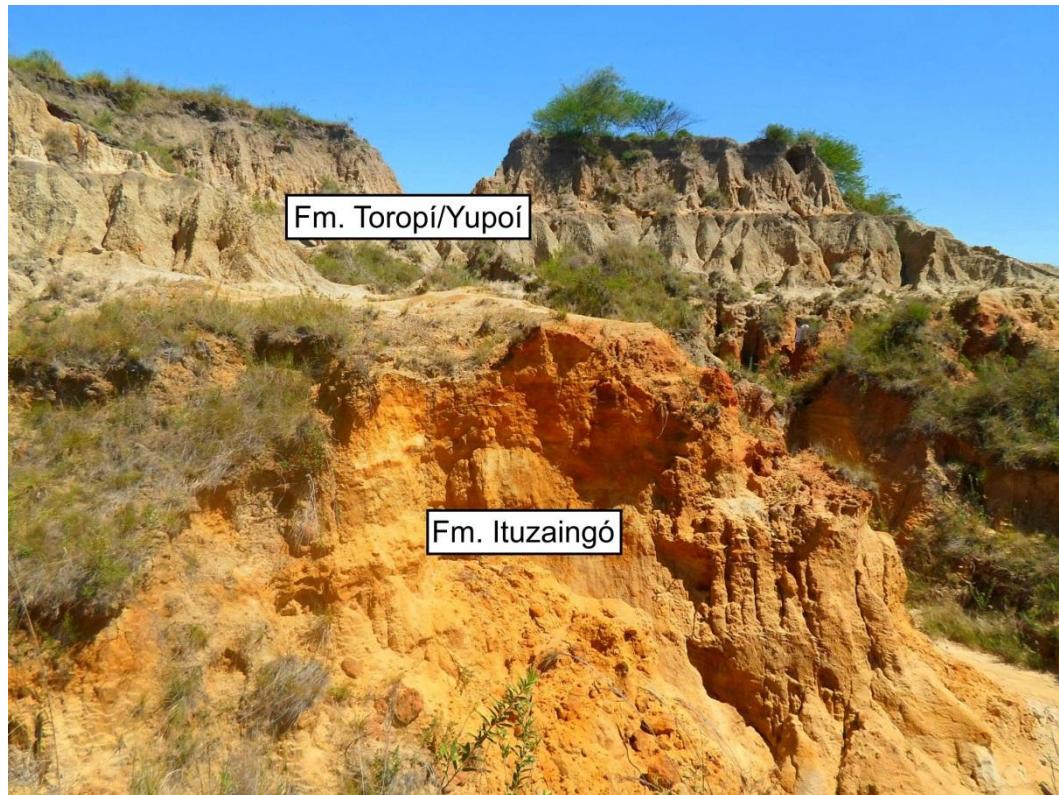
2.2. Aspectos Geológicos de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina)

En términos geológicos, se puede considerar al paisaje de lomadas arenosas como uno de los más jóvenes de la provincia de Corrientes, ya que sobre ellas afloran las formaciones (Fm) geológicas Ituzaingó y Toropí (Figura 17), siendo la primera la más antigua con aproximadamente 5 millones de años.

En este sentido, consideramos que para comprender el paisaje actual es preciso describir la evolución del mismo partiendo desde el Plioceno Inferior, momento en el cual se estima el origen de la Fm Ituzaingó.

Figura 17

Barrancas de Empedrado (Corrientes, Argentina). Formación Toropí / Yupoí y Formación Ituzaingó



Fuente: Fotografía de Julio César Meza. Año 2014

2.2.1. Formación Ituzaingó

Según Morton (2004: 45), la Fm Ituzaingó fue definida por De Alba (1953), término aceptado y empleado posteriormente, pero es Herbst (1971) y posteriormente Herbst *et al.* (1976) quienes la caracterizan litológicamente dando su extensión vertical y horizontal.

Se distribuye sobre el noroeste de la provincia de Corrientes y se desarrolla en la margen izquierda del río Paraná, desde unos 30 km al este de la localidad de Ituzaingó (De Alba, 1953) hasta el río Guayquiraró al sur, extendiéndose hasta la ciudad de Paraná, Entre Ríos (Herbst, 2000).

Según Morton (2004: 48), “*se estima que durante la deposición de la Fm Ituzaingó imperaba un clima subtropical y los bivalvos fósiles estarían limitados al ámbito lacunar, borde de cuenca, someros, donde fueron hallados*”.

La edad estimada se encuentra entre el Mioceno Superior y Plioceno (Morton, 2004) mientras que otros autores la calculan entre el Plioceno Superior y Pleistoceno Inferior, en función de las relaciones estratigráficas que guardan con las Formaciones infrayacentes y suprayacentes (Herbst y Santa Cruz, 1985; Morton y Jalfin, 1987).

Se caracteriza por ser el depósito fluvial del río Paraná (Iriondo, 1999). A lo largo de su historia, ha sido denominada de diferentes modos. Es conocida como Serie Mesopotámica, Mesopotamiense, Asperón Guaranítico, Estratos Araucanos. Hacia la provincia de Entre Ríos también se la denominada como Fm Entre Ríos, Rionegrense y Puelchense (Herbst, 2000). Está compuesta básicamente por arenas y areniscas con diverso grado de compactación (de sueltas, friables a sumamente duras por sedimentación con óxidos o hidróxidos de hierro y sílice). La granulometría también varía desde arenas y areniscas de grano fino, mediano hasta gruesas (encontrando conglomerados bien definidos). En varias localidades se intercalan cierta cantidad de lentes de material más fino, limolitas y limo-arcilitas (Herbst, 1971). Comenzó a depositarse desde el Plioceno, cuando el río Paraná aparece en la llanura Argentina, hasta la actualidad. Tuvo gran desarrollo en el Plioceno y Pleistoceno inferior (Iriondo, 1999). Está distribuida a lo largo del lineamiento Paraguay-Paraná desde Asunción hasta la depresión del Salado en la provincia de Buenos Aires, cubriendo una superficie de 120.000 Km² (Iriondo, 2010). Los afloramientos comienzan sobre la margen izquierda del Paraná desde la Localidad de Ituzaingó (Corrientes), llegando hasta Paraná (Entre Ríos). Pero también afloran en regiones interiores de ambas provincias (Anzotegui y Lutz, 1987).

En Santa Fe y Buenos Aires se encuentra en el subsuelo (Arenas Puelches) (Iriondo, 1999).

2.2.2. Formación Toropí – Yupoí

Pertenecientes al Pleistoceno tardío (Herbst y Santa Cruz, 1999; Carlini *et al.*, 2008), inicialmente, ellas fueron asignadas cronológicamente al Piso Ensenadense (Pleistoceno temprano-Pleistoceno medio) y al Piso Lujanense (Pleistoceno medio-Holoceno temprano), respectivamente (Herbst y Álvarez, 1972; Álvarez, 1974; Herbst y Santa Cruz, 1999). Sin embargo dataciones más recientes indican que ambas unidades corresponden, en realidad, al Pleistoceno tardío (ca. 58 ka y 28 ka⁶ AP) (Tonni *et al.*, 2005; Tonni, 2007). Desde una perspectiva ambiental, estas unidades incluyen depósitos de planicies de inundación de un sistema asociado al río Paraná (Herbst y Álvarez, 1972; Herbst y Santa Cruz, 1999; Tonni, 2007a); Iriondo (2010) y Erra *et al.* (2013).

De abajo hacia arriba se ubican la Fm Toropí (Herbst y Álvarez, 1977) y la Fm Yupoí (Herbst, 1971). “*Litológicamente, la Fm. Toropí está compuesta por “arenas arcillosas, limos arenosos y en parte arcillas arenosas”, mientras que para la Fm. Yupoí se reconocen “areniscas bastante pelíticas*⁷ *con proporciones variables de ambos componentes.*” (Herbst y Santa Cruz, 1999: 42-43). Según Carlini *et al.* (2008), Estas unidades, que representan depósitos de inundación, tienen una amplia distribución, abarcando gran parte del sector occidental y oriental de la provincia, paralelo a los ríos Paraná y Uruguay, respectivamente (Herbst y Álvarez, 1977).

Por otra parte, Iriondo (1996) ha propuesto la unificación de ambas unidades, que denomina Fm. Toropí-Yupoí, basado en la gran homogeneidad litológica que poseen. Sin embargo Erra *et al.* (2013) mencionan que los resultados de dataciones mediante Luminiscencias Estimuladas Ópticamente (OSL por sus siglas en inglés), demostraron que las Formaciones Toropí y Yupoí tendrían alrededor de 58 ka y 36 ka respectivamente (Pleistoceno Superior y Holoceno Temprano) (Tonni *et al.*, 2005; Tonni, 2007b; Carlini *et al.*, 2008).

Álvarez (1974) antes de reconocerse la Fm Toropí, consideró que la sección inferior de la Fm Yupoí pudo haberse originado en condiciones semidesérticas y con un

⁶ Miles de años.

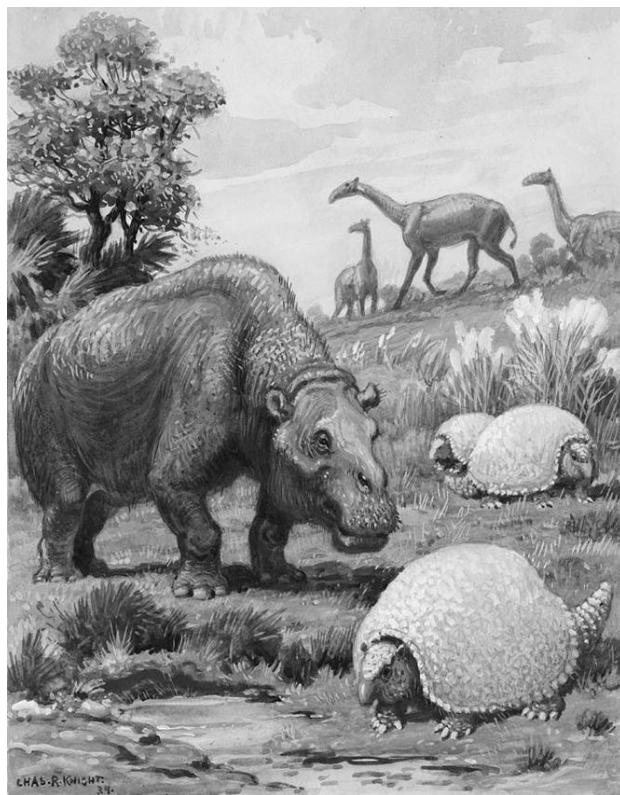
⁷ De granos muy finos

régimen de aguas rápidas, lo que concuerda, según Zurita y Lutz, (2002), con lo que postula Iriondo (1996), quien habla de hipotéticas avulsiones del río Paraná dentro de la misma formación.

Carlini *et al.* (2003) destacan la importante presencia de taxones como *Toxodon* (Figura 18), en las Formaciones Toropí y Yupoí de la provincia de Corrientes (Pleistoceno medio-tardío, un mamífero relacionado a ambientes con cuerpos de agua estable (Bond *et al.*, 1995; Archuby, 1998; Bond, 1999), al igual que *Pteronura sp.* (Carlini *et al.*, 2002).

Figura 18

Reconstrucción de un ambiente similar al momento de la Fm Toropí (Corrientes, Argentina)



Fuente: <http://images.fineartamerica.com/images-medium-large/the-toxodon-glyptodon-charles-r-knight.jpg>

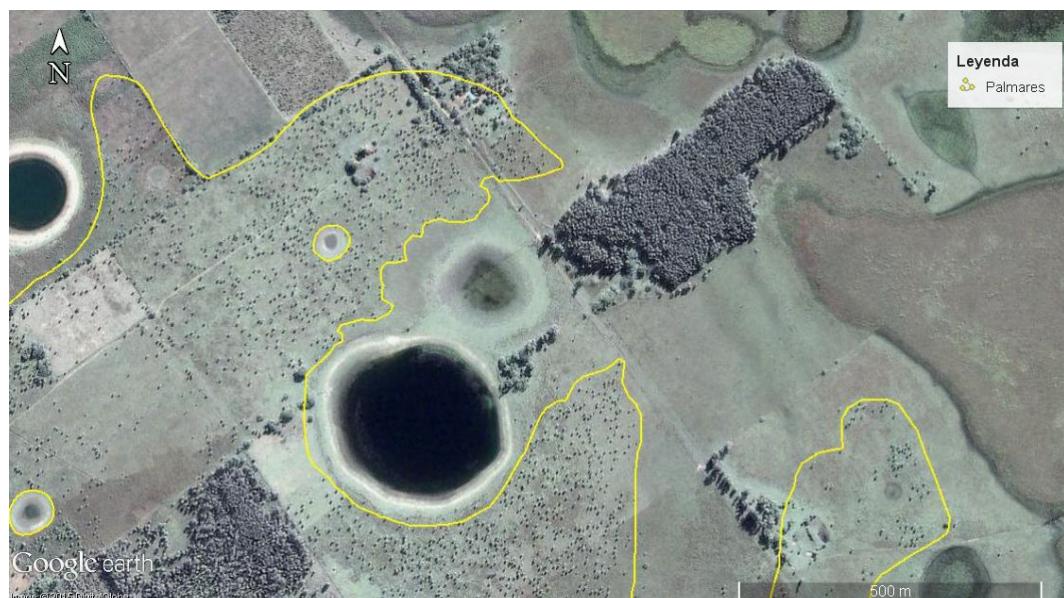
Según Tomassini *et al.* (2015: 286), “desde el punto de vista faunístico, en la Fm Toropí/Yupoí se recuperaron taxones típicamente pampeanos (e.g., *T. platensis*, *Notiomastodon platensis*, *Neosclerocalyptus paskoensis*, *Pampatherium typum*) junto con otros de afinidades brasílicas (e.g., *Boa constrictor*, *Holmesina paulacoautoi*, *Tapirus sp.*”). Teniendo en cuenta esto, se propuso que, al menos durante un intervalo del Pleistoceno Tardío, este sector de la región mesopotámica estuvo sujeto a variaciones climáticas, con

alternancias de períodos fríos y áridos/semiáridos y períodos cálidos y húmedos (Carlini *et al.*, 2003; Erra *et al.*, 2013; Zurita *et al.*, 2014).

Zurita y Lutz, (2002), teniendo en cuenta las características de la megafauna, Carlini *et al.* (2003) estarían de acuerdo con la idea de que los ambientes estarían caracterizados por el desarrollo de espacios abiertos con pastizales, con algunas palmeras presentes sobre las márgenes de un sistema fluvial, en un clima relativamente cálido y seco y, en algunos casos, parcialmente arbolados descriptos por Prado *et al.* (1987) y Deschamps y Tonni (1992).

Con el desarrollo de esta investigación, se pudo observar que en la actualidad existen palmares distribuidos sobre las lomadas arenosas, en espacios abiertos con pastizales que responderían a la descripción antes mencionada, pero en este caso no se trataría de sistemas fluviales, sino por el contrario, a sistemas de lagunas o superficies anegadizas, relacionadas a sectores de interconexión entre lagunas (Figura 19).

Figura 19
Delimitación de palmares. Departamento Concepción, Corrientes. Año 2007



Fuente: Google Earth. $28^{\circ} 22'45''$ S y $58^{\circ} 18' 24''$ O⁸

Del mismo modo Tomassini *et al.* (2015), mencionan que la conservación de los fósiles en la Fm Toropí/Yupoí se encuentra relacionada con la exposición a eventos de

⁸ Las imágenes de Google Earth no poseen grilla de coordenadas, ya que la incorporación de la misma no permite correcta visualización de la figura, motivo por el cual se indica en la fuente la coordenada central de la figura.

inundación, a los que se le suman fluidos ricos en Hierro (Fe) que favorecieron la permineralización⁹ de los distintos elementos microestructurales (e.g., canales vasculares, lagunas de osteocitos, canalículos) y el relleno de las microgrietas radiales. Según Tomassini *et al.* (2015), la precipitación de los óxidos de hierro habría tenido lugar en una etapa próxima a la finalización de la fosildiagénesis temprana, con posterioridad al desarrollo de las microgrietas radiales pero antes que la recristalización del apatita cerrara los espacios vacíos y restringiera la circulación de fluidos.

Para Tomassini *et al.* (2015), la formación de los óxidos se produjo a partir de la precipitación del Fe que estaba disuelto en los fluidos circulantes. El comportamiento de las diferentes formas de hierro depende directamente de las condiciones de reducción/oxidación y acidez/alcalinidad. Si bien no se conocen con certeza los parámetros exactos, la precipitación de los óxidos de hierro está asociada a entornos alcalinos y oxidantes, es decir con valores altos de pH y de Eh (Luque *et al.*, 2009; Pfretzschner y Tütken, 2011). El comportamiento de las distintas formas de Fe probablemente estuvo vinculado a la circulación de fluidos en los depósitos de llanura de inundación; durante los períodos de saturación en agua habría permanecido en su fase soluble y móvil, mientras que durante los períodos de sequía y aridez precipitó en forma de óxidos.

Ante lo expuesto, resulta de interés estudiar la incidencia del hierro en estado soluble en los procesos que dieron origen a las lagunas, que serán descriptos con mayor detalle en el capítulo 5.

2.3. Cambios climáticos y formaciones vegetales de la región

El clima que caracterizaba a la llanura Chaco-Pampeana durante el Holoceno, según las investigaciones de Contreras (2016), era tropical y subtropical húmedo (8500-3500 a. AP¹⁰) en sus comienzos (el Pequeño Óptimo Climático) a subtropical seco (3500-1000 a. AP) en la parte superior, con una pequeña Edad de Hielo, que afectó a la Patagonia y zonas cercanas. Luego, el clima fue cambiando hasta presentar la condición actual (Iriondo y García, 1993; Benedetto, 2010). En general, los microfósiles muestran un

⁹ Se denomina permineralización al proceso tafonómico de fosilización consistente en la precipitación de minerales en los poros y oquedades de huesos, conchas o tejidos vegetales.

¹⁰ Años Antes del Presente

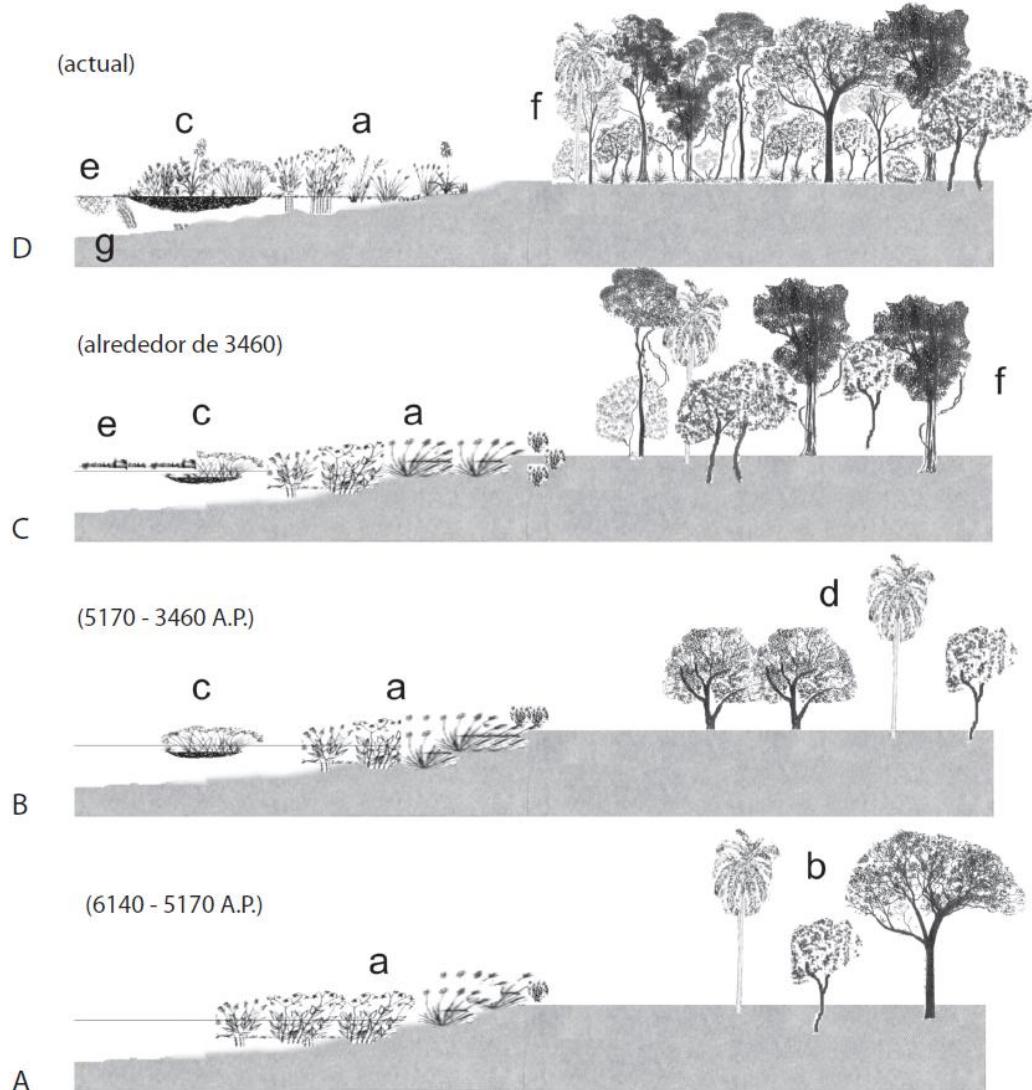
ambiente Holoceno relativamente húmedo, con períodos secos marcados, pero no variaron mucho en los últimos miles de años.

Contreras, (2016) estima que la expansión de selvas en galería en el Chaco Oriental se inició durante el Holoceno medio (~ 5000 a.A.P.), mostrando un cambio en las condiciones climáticas a partir de ese momento. Para el Holoceno superior (1550 a.A.P.), la selva presentaba su máxima extensión y se daba mayores condiciones de humedad (Behling *et al.*, 2005). A su vez concluye que la presencia y abundancia de bosques con taxa de linaje amazónico sobre el área de estudio, fue dada en un corto período de tiempo acompañando la migración del Río Bermejo. Por lo que la significación al Sudeste de Formosa ocurrió en un pasado muy reciente. Sin embargo, los pastizales hidrófilos con predominio de Panicoideae, junto con los palmares, formaron parte de este sector, en una gran parte del Cuaternario. Por lo que la heterogeneidad con la cual se representa la vegetación actual del Chaco Oriental es una característica moderna.

Respecto al paleoclima de ese período Iriondo y García (1993), mencionan que sobre la cuenca del río Uruguay hay indicios de pulsos climáticos tropicales entre 1400 y 700 a.AP. Además destacan desde un punto de vista climatológico, que durante ese período se intensificó la influencia del Anticiclón del Atlántico Sur, con la advección de aire cálido y húmedo, principalmente en la primavera, aumentando la temperatura media y desplazando hacia el sur las zonas climáticas tropicales.

Por su parte Fernández Pacella *et al.* (2011), en base a una reconstrucción palinológica en los esteros del Iberá, describen una situación similar para el extremo oriental de nuestra área de estudio. Se concluye que alrededor de 6.000 a.AP, predominó la vegetación herbácea en un clima húmedo, y que este período húmedo finalizó hacia los 5200 años AP tendiendo a condiciones climáticas más secas ya que entre 5170 años y 3500 años AP aproximadamente se establece la vegetación de bosque xerohalófilo y la colmatación del espejo de agua, la aparición de embalsados. A partir de los 3 500 años AP la frecuencia y variedad de especies características de ambientes húmedos aumenta, predominando las especies palustres-herbáceas, además del desarrollo del bosque higrófilo, antecesores de las asociaciones actuales (Figura 20).

Figura 20
Perfiles esquemáticos de la vegetación desde los 6140 años A.P. hasta la actualidad



A. (a) vegetación palustre-herbácea; (b) vegetación arbórea abierta. B. (c) embalsado; (a) vegetación palustre-herbácea; (b) bosque de *Prosopis*. C. (e) Macrófitas flotantes; (c) embalsado; (a) vegetación palustre-herbácea. (f) bosque higrófilo. D. (g) macrófitas sumergidas; (e) Macrófitas flotantes; (c) embalsado; (a) vegetación palustre-herbácea. (f) bosque higrófilo.

Fuente: Fernández Pacella et al. (2011: 110)

En la actualidad, mediante la observación de imágenes satelitales se pueden distinguir con claridad tres tipos de formaciones vegetales descriptas por Carnevali (1994): Pastizales, Palmares y Selvas marginales o ribereñas (Figura 21).

Figura 21

**Fotografía de las formaciones vegetales encontradas sobre las lomadas arenosas.
Mburucuyá (Corrientes)**



Fuente: Fotografía de Georgina Pussetto. Año 2012

Pastizales: Ubicado sobre planicies arenosas pardo amarillentas, cordones arenosos en abanico, complejos aluviales e islas arenosas con entisoles perfectamente drenados, poco o medianamente profundos, a veces por hidromorfismo temporario por falsa napa¹¹, desde anegables a inundables. Se compone principalmente de *Andropogon lateralis*, acompañados de *Sorghastrum agrostoides*, *Paspalum plicatulum*, *Digitaria swalleniana*, *Tridens brasiliensis* y en ocasiones, *Deyeuxia splendens*, *Briza uniolae*, *Digitaria insularis*, *Eupatorium candolleanum* e *Hyptis lappacea*.

Palmares de *Butia Yatay* y *Butia Paraguayensis*: Se encuentran ubicados preferentemente en las lomadas de arena rojiza. En el cordón arenoso oriental forman una amplia faja con cierta discontinuidad, desde la localidad de Loreto descendiendo al SO por San Miguel, Santa Rosa, 9 de Julio hasta las proximidades del río Corriente.

¹¹ O napa colgante, es una término utilizado por el INTA para hacer referencia a un estrato impermeable o de muy poca permeabilidad, ubicado, en promedio, a 1,6 m de profundidad. Más adelante se la describirá con más detalle.

Otra faja más corta y menos densa se desplaza sobre el cordón arenoso occidental, entre Caá Catí y Mburucuyá. Se desarrolla sobre suelos levemente ondulados, de textura superficial por lo común arenosa, arenosa – franca a franco-arenosa, profundos, de buen drenaje a algo excesivo. La matriz puede ser la sabana de *Andropogon lateralis*.

Selva marginal o ribereña: Es la selva higrófila de la ribera del río Paraná, y parte del curso de sus afluentes principales. Constituye una masa de vegetación compleja, densa, distribuida a manera de faja discontinua a lo largo del valle aluvial y el albardón o dique de la terraza alta.

La selva primitiva, densa, de difícil transitabilidad, se transforma así en otra con sotobosque abierto y masa forestal de clases diamétricas inferiores, quedando solamente en pie como testigos aquellos ejemplares a veces de gran diámetro, pero cuyo estado sanitario es deficiente y sus fustes defectuosos.

Es una prolongación de la formación de la selva fluvial misionera, pero más empobrecida. En los estratos leñosos se distinguen entre 30 a 40 especies leñosas, pudiéndose apreciar una menor riqueza florística a medida que la selva avanza hacia el Oeste y Sur. No existen especies dominantes, siendo una mezcla heterogénea.

Del estrato arbóreos altos se destacan *Enterolobium contortisiliquum*, *Cathormiom polyanthum*, *Anadenanthera colubrina*, *Tabebuia heptaphylla*, *Arecastrum romanzzoffianum*, *Pelthophorum dubium* *Astronium balansae*. En los estratos inferiores *Ruprechtia laxiflora*, *Guadua angustifolia*, *Nectandra falcifolia*, *Ocotea diospyryfolia*, *Patagonula americana*, *Croton urucurana* y *Terminalia australis*. Los arbustos más frecuentes son *Allophylus edulis*, *Acacia bonariensis*, *Bauhinia forticata*, *Eugenia uniflora*, *Ingá uruguensis*, *Psidium guajava*, *Cereus alacriportanus*, entre otras.

Guadua angustifolia, bambúsea gigante propia de las márgenes del Paraná forma dentro de la selva densas consocies “tacuarales” de hasta 50 m de diámetro por 15 a 20 m de altura.

En esta investigación consideramos que las selvas ribereñas merecen especial atención, ya que las mismas actúan como los límites entre las lomadas arenosas y los esteros circundantes. En este sentido, la ubicación de las mismas facilitaron los procesos de digitalización sobre el área de estudio, como se describirá más adelante (Figura 22).

Figura 22

Bosques de ribera ubicados sobre el límite de la lomada arenosa. Departamento San Cosme, Corrientes. Año 2014



Fuente: Imagen de Google Earth. 27° 23' 28" S y 58° 22' 22" O

En síntesis, basados en los antecedentes, se puede inferir que el antiguo paisaje de nuestra área de estudio se caracterizó por la presencia de ambientes fluviales y pastizales y que con el tiempo fueron incorporándose otras comunidades vegetales como respuesta a los ciclos climáticos más húmedos.

Es posible establecer que el antiguo paisaje de la Región de Lomadas Arenosas no difiere en mayor medida al actual y que la edad de las lagunas rondaría entre 6000 – 5000 a.AP, según estudios palinológicos realizados Pacella, *et al.* (2011) en sedimentos de lagunas actuales.

Por último, si bien los sedimentos ubicados sobre la provincia de Corrientes y sobre Chaco Oriental poseen una génesis diferente, la evolución fitogeográfica es similar y en consecuencia permite inferir que la morfología de las lagunas estaría asociada a un período más húmedo que el actual, teniendo en cuenta la reciente llegada de selvas amazónicas estimada por Contreras, (2016), hace aproximadamente 1550 a.AP.

Capítulo 2

Distribución, evolución, clasificación de las lagunas de la región de lomadas arenosas

En este capítulo se dará a conocer la distribución de la totalidad de lagunas ubicadas sobre las lomadas arenosas, se describirán sus etapas de evolución, se las clasificará e indicará el rol de la pendiente en la evolución geomorfológica de las lagunas.

“Dados los múltiples factores geológicos y biológicos que concurren en su origen, en su dinámica y en su evolución, los lagos se perfilan siempre en los textos especializados como sistemas naturales complejos, difíciles de definir, clasificar y modelizar de manera simple” (Fregenal Martínez y Meléndez, 2010: 299).

Según Vila *et al.*, (2006), la visión e interpretación del paisaje desarrollada desde la ecología del paisaje se fundamenta en una aproximación de carácter estructural - morfológico y a la vez funcional. En otras palabras, se analizan las características estructurales y morfológicas que componen un territorio en un momento determinado y/o su evolución a lo largo del tiempo, infiriendo a la vez en su incidencia a nivel de funcionalidad ecológica; y por lo tanto, la ecología del paisaje se focaliza en tres características: *la estructura, la funcionalidad y el cambio* (Forman y Godron, 1986).

Bates y Jackson (1987) definen a un lago como cualquier cuerpo de agua continental que ocupa una depresión en la superficie de la Tierra y tiene un tamaño apreciable, mayor que una charca y demasiado profundo como para permitir que la vegetación (excluyendo la vegetación subacuática) enraíce completamente en la zona cubierta por el agua en toda su extensión.

Para Fregenal Martínez y Meléndez, (2010), la diferencia entre lagunas y charcas viene dada por las dimensiones relativas del cuerpo de agua. Se suele establecer que la charca tiene longitudes inferiores a 50 m, o superficies menores de media hectárea, mientras que las lagunas presentan siempre dimensiones mayores que éstas, pero no reúne las características típicas de un lago, principalmente en cuanto a estratificar en capas independientes la columna de agua (González Bernáldez, 1992).

Para este último autor, a pesar de que se definen límites cuantificables, en la naturaleza, lagos, lagunas y charcas forman parte de un espectro continuo en el que puede resultar sencillo distinguir un lago de una charca, pero en multitud de ocasiones las

diferencias entre lago y lagunas no son claras, como tampoco lo son entre determinadas lagunas y charcas.

“La definición tipológica de un humedal y su inclusión en una clasificación constituye una de las primeras fases en el estudio y evaluación de una zona húmeda. El objetivo fundamental que se persigue a la hora de construir una clasificación es el de establecer diferentes grupos de humedales, con características similares, que permitan marcar criterios propios de funcionamiento y evolución, determinando directrices o pautas comunes de comportamiento, y facilitar las líneas maestras estratégicas de su gestión”. (Durán Valsero *et al.*, 2009: 335).

Los lagos son cuerpos de agua, cuya existencia depende la presencia de una depresión sobre la superficie terrestre y de un balance hídrico favorable (Esteves, 1998). Los que se encuentran en la actualidad, tienen su origen en épocas recientes, principalmente durante el Pleistoceno y Holoceno, como resultado de procesos endógenos y exógenos (Nunes da Silva Meneses, 2007).

Las grandes llanuras chaco-pampeanas cubren extensas superficies con amplia sedimentación continental. Esta región tiene pendientes muy suaves y actividad neotectónica significativa, donde la sucesión entre períodos húmedos y secos han generado una geomorfología con un importante desarrollo de humedales y lagos poco profundos o someros (Iriondo, 1984).

De acuerdo con la bibliografía internacional, se utiliza el término lago somero o “shallow lakes” para hacer referencia a las lagunas que, según Bécares *et al.*, (2004: 2) *“ocupan una posición intermedia en el gradiente entre un lago y un humedal. En los lagos el ambiente pelágico predomina sobre el ambiente litoral porque el fitoplancton es el productor primario del lago, mientras que en los humedales el ambiente litoral (la vegetación acuática) domina la producción primaria”*. A su vez destacan que los lagos se diferencian además en profundos y someros 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).

En la figura 23 se puede observar como el viento repercute en las lagunas empujando las macrófitas flotantes libres hacia el norte de las cubetas de dos lagunas. La fecha de captura de la imagen es 19/04/2007 y para ese día se ha registrado para la estación Corrientes Aero, vientos de dirección sur de 14,3 Km/h y una velocidad máxima

sostenida de 27,8 Km/h. Sin embargo, durante el mes de abril la media de la velocidad del viento sur fue de 11,2 Km/h.

Figura 23

Efecto del viento sobre las macrófitas flotantes libres de dos lagunas del departamento General Paz, Corrientes. Año 2007



Fuente: Google Earth. 27° 50' 35" S y 57° 53' 06" O

Al referirse a las lagunas pampeanas, Quirós y Drago, (1999), mencionan que debido a su presencia en tierras fértiles, las lagunas eutróficas han experimentado un aumento de los niveles de eutrofización y muchas de ellas han pasado a un estado turbio (Torremorell *et al.*, 2007). Una vez en un estado turbio, la morfometría de la laguna, la planitud general del terreno y la persistencia y fuerza de los vientos se combinan para favorecer la mezcla del agua y así evitar la estratificación estable (Quiros y Drago, 1999), que supuestamente actúan como factores de estabilización del estado turbio (Torremorell *et al.*, 2007).

Para Fernández Aláez *et al.* (2004), el funcionamiento de los lagos someros está controlado, además de la disponibilidad de nutrientes y el estado trófico, por la cantidad y periodicidad del agua que, al ser poco profundos los niveles del agua fluctúan de forma natural intra e interanualmente, dependiendo en gran parte de las condiciones climáticas de la región y de las actividades humanas (Blindow 1992, Gafny y Gasith 1999, Beklioglu *et al.*, 2001). Las fluctuaciones en el nivel del agua tienen un efecto decisivo sobre la

estructura, funcionamiento y manejo de estos sistemas acuáticos, y afectan a sus valores de conservación (Fernández Aláez *et al.*, 2004).

Se puede clasificar a las lagunas de las lomadas arenosas, según la clasificación de Fregenal Martínez y Meléndez, (2010), como *lagos asociados a humedales estacionales tropicales y subtropicales*, el cual se trata de sistemas geográficos y ambientales que se caracterizan por ser zonas deprimidas que tienden a encharcarse con patrones de drenaje complejos y difusos que sufren un período de inundación y un período de estiaje o desecación anual controlados por la estacionalidad climática tropical o subtropical. Ocupan enormes extensiones y suelen presentar gran densidad de lagos y lagunas de tamaños variables. Para el autor, es frecuente que se relacionen estos cuerpos de agua con sistemas fluviales o por el afloramiento de acuíferos regionales.

Según Brinson (2004), generalmente los inventarios de humedales proveen datos útiles sobre los tipos de humedales en la región de interés, como ser su localización y extensión. Sin embargo, las clases de humedales, ya sea por *RAMSAR* o la *National Wetland Inventory*, no fueron las creadas inicialmente para relacionar los humedales con las funciones que ellos desempeñan; cuya información sobre un recurso natural, es una de las herramientas más importantes para el manejo sustentable del mismo.

“La ventaja de una clasificación funcional o la habilidad para vincular las clasificaciones existentes con la función que cumplen, proveería inventarios con información adicional. La comprensión de la forma en que funcionan naturalmente los humedales puede ser de un gran valor en la demostración de cómo se vinculan con los bienes y servicios utilizados para la sociedad”. Brinson (2004: 26).

Si en todos estos aspectos los lagos actuales resultan ser sistemas complejos, cuando se tratan de definir o clasificar sistemas lacustres antiguos, la complicación aumenta notablemente (Fregenal Martínez y Meléndez, 2010).

Al introducir la variable tiempo, Fregenal Martínez y Meléndez, (2010: 301), mencionan que *“lo normal es encontrar que los sistemas lacustres con tiempos de residencia media y larga cambian a lo largo de su historia geológica y ambiental, y pueden pasar por etapas en las que sean hidrológicamente abiertos y otras cerrados, pueden alternativamente presentar o no estratificación en la columna de agua, sufrir oscilaciones drásticas del nivel y volumen de agua y responder a cambios climáticos de gran alcance que se producen en tiempos relativamente cortos”*.

Sobre la región de Lomadas Arenosas, como lo destacan diversos autores (Popolizio (1984), Frenguelli (1927), Neiff (2003), INTA, Carnevalli (1994), entre otros), existe un gran número de cuerpos de agua léticos y someros conocidos como lagunas. Es importante destacar que es posible detectar desde charcas temporales hasta, relativamente, grandes lagunas permanentes; sin embargo, a los fines prácticos en esta investigación, serán consideradas como lagunas todos los cuerpos de agua que respondan a los criterios utilizados para su delimitación como ya fueron detallados.

3.1. Descripción de las lagunas de la región de lomadas arenosas

Se puede decir que forman parte de los ambientes leníticos o léticos (aguas quietas); éstas; a su “vez pueden distinguirse entre las “pequeñas lagunas” y las “grandes lagunas” que difieren no solo por el tamaño sino por su origen, régimen de alimentación de aguas y sus características físicas y químicas” (Neiff, 2003). En este caso, las lagunas en estudio corresponden a las de pequeño orden, cuyas características, según lo establece el autor, son:

- Forma redondeada y con un diámetro entre 30 y 500 metros.
- Distribución más o menos regular.
- Diferencias apreciables entre el área limnética y el área litoral donde generalmente está poblada por gramíneas acuáticas en la zona de contacto tierra/agua y por plantas sumergidas hasta una profundidad de 1 – 2 m. Posteriormente, lo circunda una faja poblada por plantas flotantes libres como *Salvinia biloba*, *Pistia stratiotes*, entre otras y por gramíneas acuáticas como *Schoenoplectus californicus*, *Paspalidium paludivagum*, etc.
- Poseen un espejo de agua visible.
- Tienen agua permanente.
- La profundidad varía entre 1,5 – 4 metros
- La fluctuación estacional del nivel del agua no supera los 50 cm, pero en períodos hiper húmedos, las lagunas crecen en superficie pudiendo contactarse con otras; caso contrario en períodos secos. La conectividad o aislamiento tienen influencia sobre las relaciones tróficas y en las características de las distintas colectividades.
- Son aguas con tendencias neutras a ligeramente ácidas (pH 6 – 7,5).

- Transparentes, con valores de disco de Secchi mayores que un metro.
- La salinidad es baja (conductividad menor que 70 $\mu\text{S.cm}$).

Una mayor descripción de las lagunas de lomadas arenosas la realiza Neiff (2001:95-96), cuando las describe como “*lagunas aisladas con alta productividad primaria neta a nivel de fitoplancton; con baja capacidad de acumulación de materia orgánica*”:

“Se trata de lagunas relativamente jóvenes, de forma redondeada o subredondeada cuya superficie oscila entre 3 y 80 ha. Tienen perfil en forma de palangana, con fondo generalmente regular y el agua que las colma proviene en parte del escurrimiento superficial y parte de la circulación freática. Poseen fondo arenoso y si bien poseen elevada transparencia, en alguna de ellas se opera una drástica disminución (más notoria en primavera – verano), a consecuencia del desarrollo masivo del fitoplancton que suele formar una capa espesa, más densa en superficie.

Sus aguas poseen bajos a moderados tenores de nutrientes por hallarse enclavadas las lagunas en terrenos muy lixiviados. Con frecuencia los nitratos tienen valores de 5 a 50 g/l de nitrógeno inorgánico y el fósforo (ortofosfato) 0,02 mg/l. Las aguas por lo común son poco tamponadas, por lo que su pH fluctúa en un ciclo diario entre 6 y unas 8 unidades.

La disponibilidad de oxígeno es buena (valores superiores a 6,3 mg/L; es decir próximos al 75% de saturación), pudiendo alcanzar entre un 80 a 150%.

A pesar de la buena transparencia del agua, las plantas sumergidas llegan a ocupar 30% de la laguna. Su productividad anual es baja si se compara con los valores registrados por las macrófitas en otros ambientes del nordeste. Estas plantas tienen un bajo consumo directo (Poi de Neiff, 1979) aunque muchos peces encuentran refugio y alimento allí (Bonetto et al. 1978)

*En la ictofauna (Bonetto et al., 1978) se han registrado más de 70 especies resultando muy frecuentes y abundantes las “pirañas” del género *Serrasalmus*. Los resultados obtenidos por Bonetto (1980) dan cuenta de una productividad neta muy elevada para las poblaciones de sábalo*

(Prochilodus lineatus) que habría alcanzado a 250 kg/ha/años en la laguna González (Corrientes).

Bonetto et al. (1978, 1980) califican a estas lagunas como eutróficas o de moderadamente eutróficas. En muchos ambientes se advierten condiciones de distrofia, para la escasa vehiculización de la productividad primaria a los consumidores, la prevalencia de los procesos de acumulación de la materia orgánica y la depleción del oxígeno disuelto en profundidad aún en ambientes playos”.

En relación a los componentes del paisaje, Vila *et al.* (2006) menciona dos conceptos fundamentales: *la composición del paisaje* (la variedad y abundancia de fragmentos en un paisaje) y *la configuración del paisaje* (la distribución espacial de los fragmentos en el paisaje).

Considerando a las lagunas como el fragmento más significativo del paisaje, en este capítulo se darán a conocer la composición y la configuración de las lomadas arenosas mediante el conocimiento de la distribución de la totalidad de lagunas, su clasificación en función de sus etapas de evolución, los factores que inciden en las mismas y las consecuencias que genera la dinámica geomorfológica sobre este paisaje.

3.2. Distribución de las lagunas de la región de lomadas arenosas

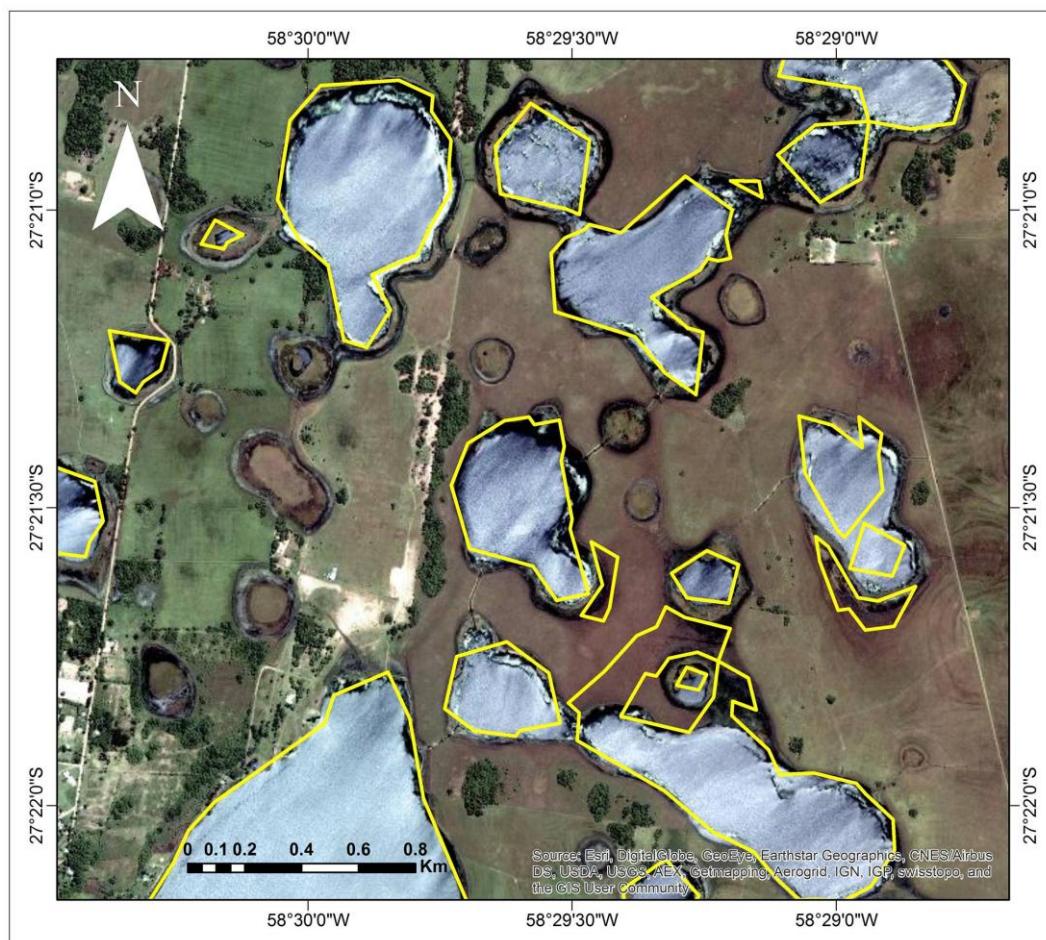
Debido al gran número de cuerpos de agua presentes y a su distribución espacial, el uso de sensores remotos y el tratamiento de imágenes satelitales se tornan  herramientas adecuadas al momento de realizar un estudio integrado de las mismas (Dukatz, *et al.*, 2005). Esto permite, según los autores, realizar una clasificación de las lagunas en distintas fases hidrológicas y climáticas, lo que obliga, según Pacheco *et al.* (2007), a estudiar las diferentes alternativas de digitalización para convertir la información analógica a información numérica digital. 

 En cuanto a la digitalización de elementos del paisaje, Pacheco *et al.* (2007) describe que la misma puede ser una manual, generando en pantalla capas vectoriales con la información que se desee del mapa o bien digitalización automatizada, utilizando una imagen ráster procesada para generar los archivos vectoriales en forma semiautomática y automática.

Según el INTA, la provincia de Corrientes alberga un total de 10.000 lagunas, basándose en una clasificación no supervisada  imágenes LANDSAT, discriminando aquellas que poseían un diámetro inferior a 100 m.

Sin embargo, Richardson Varas (2005) sugiere que la clasificación supervisada y no supervisada de imágenes en su sentido estricto, necesita de un conocimiento previo del contexto espacial y una idea muy clara de lo que se espera encontrar para poder adoptar una estrategia a fin de buscarlo. En este sentido, como se puede ver en la figura 24, los resultados obtenidos de la clasificación no supervisada distan de delimitar con precisión a las lagunas estudiadas, generando contornos rectilíneos o simplemente no reconociéndolas debido a la presencia de vegetación flotante.

Figura 24
Comparación entre la clasificación no supervisada de la imagen LANDSAT 5 TM Path/Row 226/079 con fecha 21/04/1999 (período húmedo) y World Imagery



Fuente: Odriozola y Contreras (2016:29)

Se puede considerar que esta metodología resulta ineficiente en estudios morfométricos de cuerpos de agua a gran escala, principalmente si se pretende clasificarlos según sus formas, a lo que se le suma la generación de dos o tres polígonos correspondientes a una misma laguna, incrementando el error a la hora de inventariar el número de lagunas en la región.

Sin embargo, la clasificación no supervisada es efectiva para establecer comparaciones temporales en relación a los cambios morfométricos a una escala más reducida o bien al hacer referencia a estudios asociados a cambios en la cobertura vegetal.

En este sentido, las ventajas que poseen las imágenes LANDSAT mencionadas por Salas *et al.* (1995), son que añaden al menor coste y mayor repetitividad, lógicamente al precio de un menor detalle espacial, lo que invalida su empleo en cartografía de cierto detalle. No obstante, para algunas aplicaciones, resulta una fuente de datos suficientemente eficaz.

Los  métodos no supervisados de clasificación digital de coberturas de suelo, según Chuvieco (2002), poseen como principal ventaja, el reconocimiento de patrones espectrales de manera autónoma e interactiva, sin sujetarse a un estricto conocimiento del sitio de estudio y permitiendo concentrar la tarea humana en la interpretación más que en la consecución de los resultados, también podría decirse que son exploratorios, ya que buscan reducir las clases espectrales presentes en la imagen (Arango Gutierrez *et al.* 2005)

Según Odriozola y Contreras (2016: 29) “*se puede considerar que esta metodología resulta ineficiente en estudios morfométricos de cuerpos de agua, principalmente en aquellos donde se pretenda clasificar según sus formas*”.

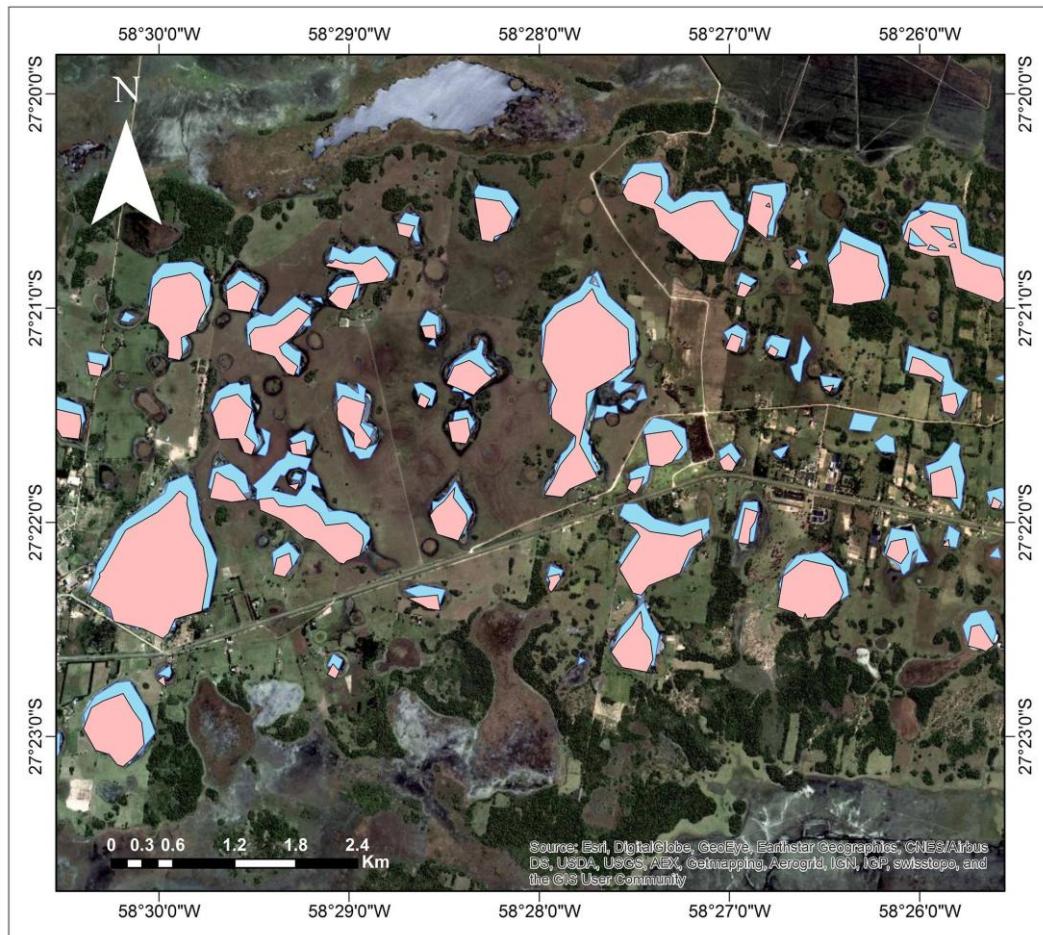
Es por ello que se recurrió a la digitalización manual de imágenes, ya que la presencia de vegetación acuática o áreas anegadas cercanas a las lagunas impiden la detección automática correcta de las cubetas subestimando la totalidad de lagunas presentes en una región como se ha visto en la figura anterior.

La figura 25 es un ejemplo de ello, ya que muestra una comparación entre las imágenes del World Imagery de ArcGIS 10.1, y los polígonos generados con las escenas del satélite Landsat TM 5. Si bien no detecta la totalidad de lagunas, si al menos permite

calcular a grandes rasgos la elasticidad ¹² de los cuerpos de agua más grandes, explicación del porque entre 1999 y 2009 existe una diferencia de 55.000 m² en la superficie total de lagunas de la Lomada Norte.

Figura 25

Comparación entre los resultados de la clasificación no supervisada. San Cosme, Corrientes. Años 1999 (celeste) y 2009 (rosado)



Fuente: Odriozola y Contreras (2016:30)

Los resultados demuestran que, únicamente sobre el paisaje de lomadas arenosas, existe un total de 38.926 lagunas (figura 26) que, con una superficie total de 2.422 Km², representan un 20% de la superficie de las lomadas arenosas (densidad

¹² Cociente entre la superficie del cuerpo de agua en períodos húmedos y su correspondiente en períodos secos.

lacustre¹³) y un 3% de la superficie total de la provincia de Corrientes (Ver cartografías de distribución de lagunas por departamento en Anexos 1 - 16).

Para Castillo Jurado (1992) la densidad lacustre varía desde 0.1% (y menos), a más de 10%. Según el autor, en las regiones que no conocieron las últimas glaciaciones, esta variable depende del clima, la tectónica, y la litología. A su vez menciona que existen valores muy bajos en regiones áridas de China, India y Argentina, en general en sustratos donde el agua se filtra fácilmente (Sur de Europa; Francia; Japón; Indonesia) y menciona algunos ejemplos como en escudos cristalinos y en general en montañas que sufrieron las glaciaciones suele superar el 8%; también serían elevados en valles aluviales; en las regiones árticas de Siberia y Canadá supera el 50%, debido al terreno encharcado por la fusión del permafrost.

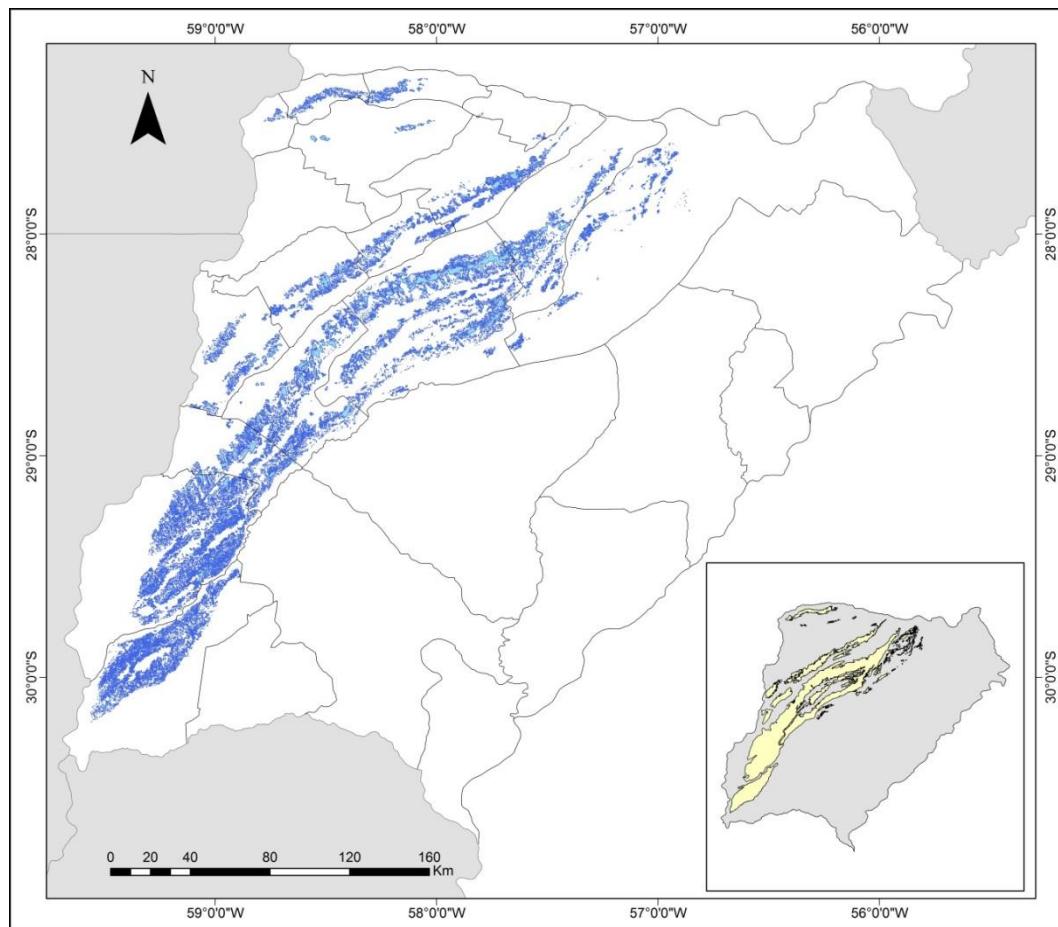
Por otra parte, Jurado Castillo (1992: 117) menciona que :

“si se consideran también los humedales, estos ocupan cerca del 10% del territorio de la antigua Unión Soviética, el 34% en los Territorios del Noroeste de Canadá (Kalff, 2002), el 40-50% en el centro y norte de Karelia, y en algunas zonas del oeste de la taiga siberiana llegan al 80%. Para el conjunto de la Tierra (sin incluir los casquetes polares) la densidad lacustre es del 2.1%, aproximadamente (Meybeck, 1995)”.

¹³ Se define como el área total del conjunto de lagos de una región, referida al área de dicha región, y expresada en tanto por ciento (Meybeck, 1995).

Figura 26

Distribución de lagunas en el paisaje de lomadas arenosas (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y el World Imagery

La distribución de las lagunas responde a la disposición de las lomadas arenosas que, salvando la orientación E – O de la Lomada Norte del Riachuelo, todas poseen un alineamiento NE – SO.

Por otra parte, a partir de la observación de la distribución de las lagunas, se pueden destacar algunas situaciones:

1. *Los espacios vacíos dentro de la región de Lomadas Arenosas:* Si bien se ha mencionado el rol que ha tenido el desplazamiento del río Paraná en la formación de las lomadas, resulta evidente como el mismo tuvo un escurrimiento más encauzado en los valles actuales del río Corriente y Santa Lucía y otro menos encauzado o con mayor divagación lateral, en donde en la actualidad escurren los arroyos Ambrosio, Empedrado, el Sombrero y Riachuelo. Esto explicaría la

ausencia o la escasa presencia de lomadas en los departamentos Berón de Astrada, San Luis del Palmar y Empedrado, siendo que en los dos primeros se pueden detectar relictos de lomadas arenosas cual si fueran islas entre los esteros circundantes.

2. *Espacios vacíos dentro de las lomadas arenosas:* Estos espacios, por lo general, corresponden a grandes áreas deprimidas dentro de las lomadas arenosas, las cuales ya han tomado contacto con la planicie circundante y por lo tanto, las lagunas que se encuentran en dichos lugares, quedan excluidas. Estos espacios fueron denominados por Popolizio (1984) como pseudopoljes, pero su formación no responden a procesos de asentamiento del suelo, sino que por el contrario, su génesis se debe a la erosión superficial y subsuperficial de las lomadas arenosas¹⁴ y su posterior conexión con la planicie circundante, proceso similar el de disolución de dunas y que será explicado en las etapas de evolución de las lagunas.
3. *La densidad de lagunas:* Si bien se hizo referencia de un total de 38.926 lagunas, por la escala trabajada en la figura 27, se puede ver en la tonalidad de los azules que existen sectores con mayor densidad de cuerpos de agua y otros con menor concentración; tema que será tratado en el Capítulo siguiente.
4. *El tamaño de las lagunas:* En parte relacionado al punto anterior, las tonalidades de azules más oscuras indicarían una mayor densidad de lagunas, sin embargo, también mantienen relación con el tamaño de las mismas. Por lo tanto, en dichos sectores  predominan un gran número de pequeñas lagunas, mientras que, en contra partida, se pueden observar grandes lagunas ubicadas en el centro de las lomadas arenosas, cuya orientación es la misma que el de las lomadas que la contienen (por lo general NE – SO).
5. *Alineamientos de las lagunas:* Si bien hemos mencionado que la distribución de las lagunas responden a la disposición de las lomadas que las contienen; en este punto se pueden diferenciar dos situaciones. En primer lugar *las grandes lagunas*, recientemente mencionadas, que mantienen la dirección de las lomadas. Por otro lado, *las pequeñas lagunas*, ya sean unidas o aisladas, que se alinean en diversas direcciones en función de la pendiente del lugar pero, principalmente, su dirección es perpendicular al de la dirección de las lomadas. Esta situación se explica en la topografía del paisaje y en las formas convexas que poseen las lomadas (Figura. 27).

¹⁴ Se explicará en el Capítulo 5.

Figura 27

Alineación de lagunas sobre el paisaje de lomadas arenosas (Esquina, Corrientes)



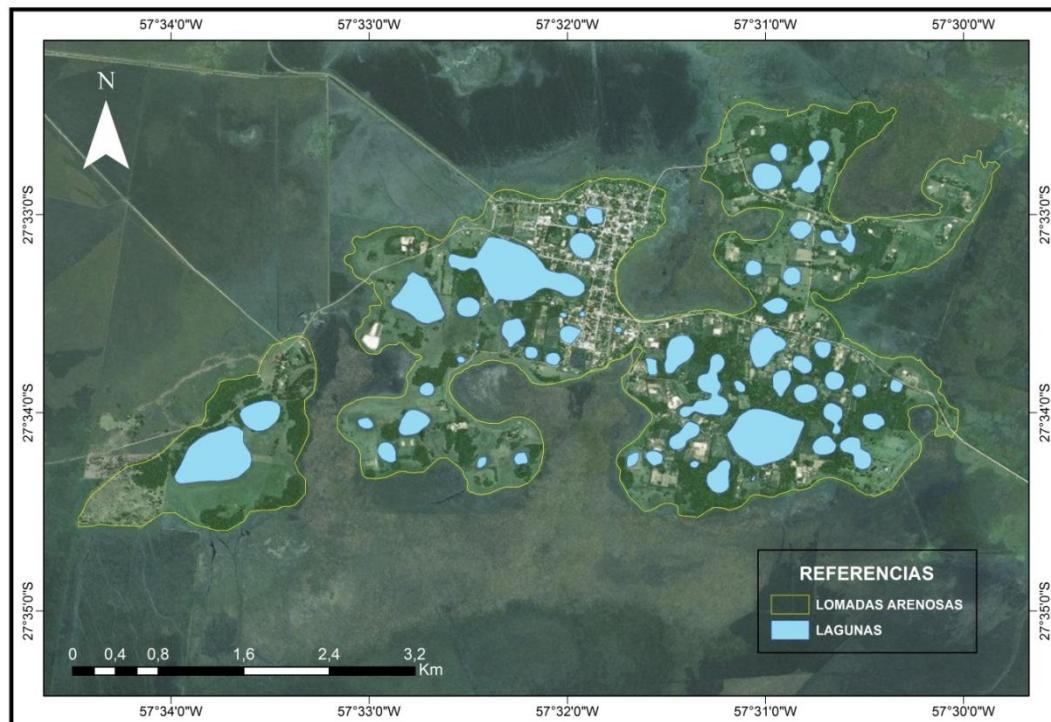
Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

La figura 27, muestra un ejemplo de la distribución y alineamientos de las lagunas en el departamento Esquina. Con una flecha de mayor tamaño se indica la orientación de la lomada arenosa, mientras que con flechas más pequeñas los alineamientos de las lagunas. Como ya se ha mencionado, las grandes lagunas siguen la orientación general de la lomada, mientras que las pequeñas lagunas se alinean perpendicularmente a las anteriores, en respuesta a la dirección de la pendiente.

No obstante, las alineaciones de las lagunas son más evidentes cuanto mayor es la extensión de la lomada que las contiene  ya que en lomadas reducidas, los alineamientos no se perciben con facilidad, posiblemente, a causa de la escasa pendiente que no permite la conexión entre las lagunas. Un ejemplo de ello es la localidad de Berón de Astrada, que se desarrolla en una porción de lomada arenosa de 12 Km² rodeada de esteros que; pese a no ser una superficie extensa, sobre la misma existen más de 50 lagunas (Figura 28).

Ejemplos como este se pueden encontrar en los departamentos de San Luis del Palmar e Ituzaingó y sin embargo, solo en Berón de Astrada se pudo detectar un ejido urbano, ya que en los otros dos casos solo existe población rural dispersa.

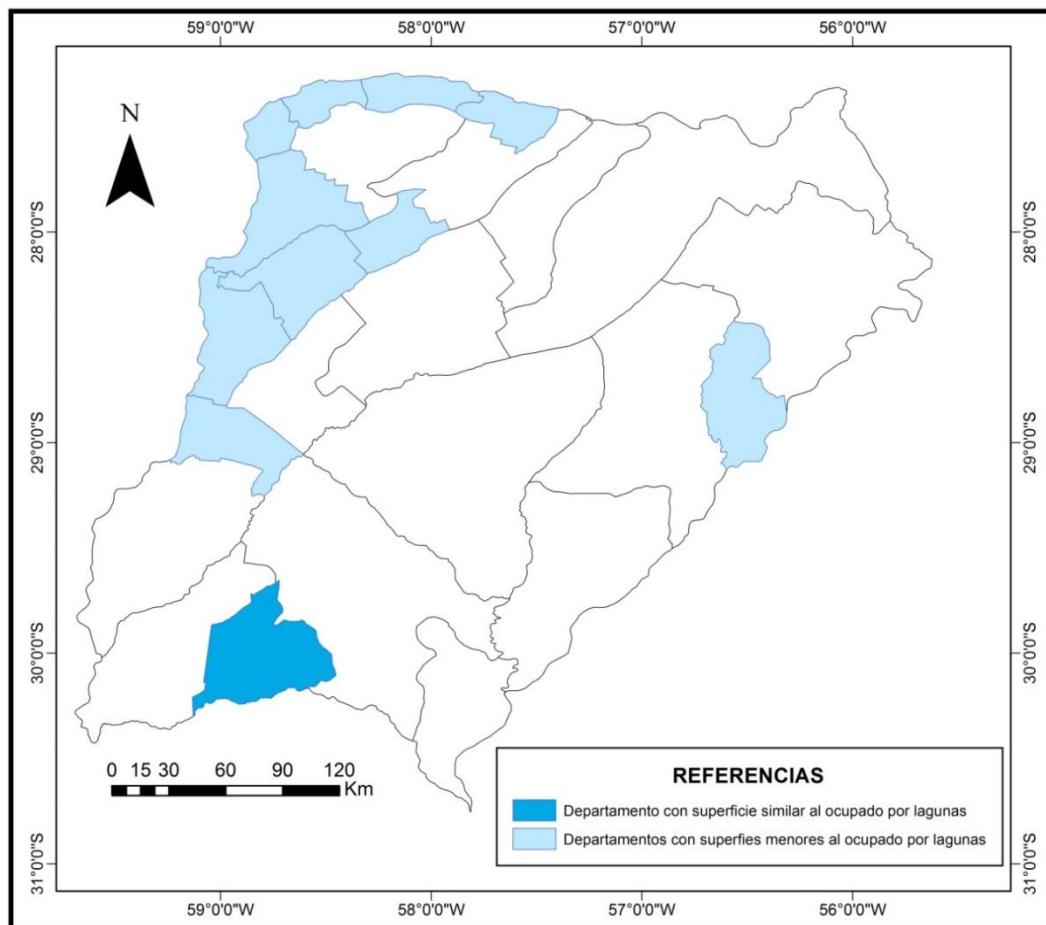
Figura 29
Distribución de lagunas de la localidad de Berón de Astrada (Corrientes)



Fuente: Elaboración personal

Si bien se ha hecho mención de que las lagunas ocupan un 20% de la superficie de las lomadas arenosas, para dar cuenta de la importancia de estos cuerpos de agua para la provincia de Corrientes, la sumatoria de sus superficies da un valor similar a la del departamento de Sauce y es mayor que la de diez departamentos, principalmente los ubicados al noroeste (Figura 29).

Figura 30
Comparación entre la totalidad de superficie ocupada por lagunas y las superficies departamentales



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

3.3. Evolución y clasificación morfológica de las lagunas

Los lagos someros son sumamente sensibles a las variaciones climáticas debido a su escasa profundidad (Jeppesen *et al.* 1998). El funcionamiento de las lagunas está gobernado, en gran medida, por las características climáticas e hidrológicas (Diovisalvi *et al.* 2010, Quirós *et al.* 2002; Torremorell *et al.* 2007) que condicionan el desarrollo de las comunidades acuáticas.

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 este estudio, sugieren que dichos tipos podrían representar distintos estados de la evolución de las lagunas, que podrían pasar de ser pequeñas cubetas a grandes lagunas de forma

irregular y en este sentido, la pendiente del relieve jugaría un papel importante en este proceso evolutivo.

Si bien en el Capítulo 5 se hablará sobre el origen de las lagunas, es importante destacar las dos hipótesis más importantes sobre la génesis de estos cuerpos de agua, para tener un punto de partida a la hora de desarrollar las etapas de evolución.

Según Popolizio (1984), las lagunas tendrían un origen pseudokárstico. La morfología pseudokárstica se caracteriza por la disolución de elementos del suelo y/o el arrastre de coloides, con el consiguiente asentamiento de sedimentos, lo que da como resultado una serie de formas semejantes a las producidas en áreas kársticas. De acuerdo a esta hipótesis, las lagunas en estudio corresponderían, en una etapa inicial, a formas pseudodolinas que son depresiones aisladas de forma circular isodiamétricas. Asimismo, en períodos de abundantes precipitaciones, éstas pueden aumentar el volumen de agua de la cubeta e interconectar numerosas lagunas entre sí, dando lugar a nuevas formas. Esta hipótesis se basa en la observación del quiebre de la pendiente de la ladera que rodea a esa morfología y que, cuando contiene una laguna, se forma una superficie de verdadera playa de batido en la orla periférica.

Sin embargo, Iriondo (com. pers.) y Quirós y Drago (1999) sugieren que las lagunas serían cubetas de deflación como las observadas en la llanura chaco - pampeana. Es decir, se tratarían de formaciones someras, de bordes suaves y de forma cóncava, que aparecen en sedimentos finos a medianos, poco coherentes, sometidos a la acción del viento. Las lagunas 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 que allí se producen corrientes de aire ascendentes (Iriondo 2007).

Basándonos en estos antecedentes, según Popolizio (1984) las lagunas se originarían como consecuencia de un proceso de degradación paulatina que, en el tiempo, originaría la unión de dos o más seudodolinas (lagunas), denominando a la morfología resultante como seudoúvalas, dada su semejanza con las úvalas en los modelados kársticos. Sin embargo, Popolizio (1984), no tuvo en cuenta la pendiente del relieve. A través de fotografías aéreas e imágenes satelitales, las diferencias de altura parecen imperceptibles por tratarse de una llanura, pero en determinados sitios puede superar los 10 metros.

En este sentido las lomadas, al igual que las dunas, son especialmente sensibles a la erosión pluvial. Iriondo (2007) menciona que las gotas de lluvia, al golpear sobre la

arena suelta, dispersarían los granos, que se van corriendo pendiente abajo sobre la superficie de la duna. En consecuencia, la superficie del campo de dunas se aplanaría por la acción de lluvias sucesivas, hasta eventualmente reducirlo a un plano horizontal. Este proceso, conocido como de disipación de las dunas, ocurre cuando tiene lugar un cambio climático y una región desértica pasa a un régimen más húmedo.

En lo planteado anteriormente por Iriondo (2007), es importante considerar la pendiente y la disipación de dunas. En relación a la pendiente, a partir de la observación de las imágenes, se reveló que permite 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 las líneas preferenciales de escurrimiento en canales que unen los cuerpos de agua y 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. Por otra parte, la disipación de dunas se manifiesta en los sectores de avance de la planicie sobre la lomada, erosionándola y dejándola en un mismo nivel altimétrico.

Las líneas preferenciales de escurrimiento son los cauces mencionados por Tricart (1973) al referirse a las lagunas pampeanas, que unen a las lagunas entre sí y que, cuando éstas se desbordan al aumentar el nivel del agua, se forman las lagunas encadenadas.

Tanto la formación de líneas preferenciales de escurrimiento y su posterior ensanchamiento hasta la formación de un canal, como los procesos de disipación de dunas, requieren la ocurrencia de períodos húmedos prolongados. El proceso de disipación de dunas además de ser afectado por las precipitaciones, también lo es por el aumento del nivel de agua de la planicie, que puede estar asociado a las crecientes del río Paraná, cuya conexión se realiza por medio de los cursos autóctonos ubicados entre las lomadas.

En los primeros momentos de esta investigación y en función de lo observado en la Lomada Norte, en Contreras, (2011) se propuso que las lagunas evolucionan de pequeñas cubetas pasando por cinco etapas hasta alcanzar la planicie, mediante el proceso anteriormente mencionado y como se detalla a continuación:

1.- *Formación de la cubeta*: A través de la erosión eólica, se formaría una cubeta de deflación.



2.- *Comienzo de formación del canal:* El agua que se desborda de la cubeta de la laguna siguiendo la pendiente, forma una línea preferencial de escurrimiento hasta interconectarse con otra laguna (Figura 30).

Figura 30

Líneas preferenciales de escurrimiento (San Cosme Corrientes). Año 2013



Fuente: Google Earth. 27° 22'25" S y 58° 21' 29" O



3.- *Ampliación del canal:* Si los volúmenes de agua son importantes, las líneas preferenciales de escurrimiento se ensanchan transformándose en verdaderos canales transfiriendo un mayor volumen de agua de laguna a laguna (Figura 31).

Figura 31
Canal conector entre dos lagunas (San Cosme, Corrientes). Año 2013



Fuente: Google Earth. $27^{\circ} 22' 29''$ S y $58^{\circ} 24' 48''$ O

4.- *Formación de una gran laguna*: De continuar el proceso anterior, el agua de los canales contribuiría a aplanar el relieve que separa ambas lagunas. En este caso dejan de ser dos lagunas interconectadas por un canal para convertirse en una laguna de mayor tamaño (Figura 32).

Figura 32
Dos grandes lagunas rodeadas de pequeñas lagunas circulares (Itatí, Corrientes). Año 2005



Fuente: Google Earth. $27^{\circ} 23' 33''$ S y $58^{\circ} 15' 10''$ O

5.- *Unión de la laguna con la planicie*: La continuidad de estos procesos luego de la formación de grandes lagunas podría determinar su extinción como resultado de la disminución de la superficie de la lomada, de modo similar al proceso de disipación de dunas propuesto por Iriondo (2007) (Figura 33).

Figura 33

Laguna conectada con la planicie Sur de la Lomada Norte (San Come). Año 2016



Fuente: Google Earth. 27° 23' 22" S y 58° 21' 13" O

Dichas etapas dieron lugar a una clasificación de lagunas según la etapa de evolución en la que se encontrase:

Pequeñas cubetas: Estas cubetas se caracterizan principalmente por ser pequeñas en relación a las otras, planas y de muy poca profundidad. Su capacidad de retener agua por períodos prolongados es casi nula, actuando como una suerte de charco. En distancias lineales, estas cubetas pueden presentar un diámetro entre 30 y 100 m. Cabe destacar que resulta difícil percibir a través de imágenes cubetas de menor diámetro y que en muy raros casos se llega a los 100 m.

Lagunas medianas individuales: hace referencia a las cubetas que ya poseen un tamaño tal que, de poseer agua, se convertirían en lagunas propiamente dichas. Estas lagunas poseen la particularidad de no estar todavía conectadas a ninguna otra y su diámetro va desde 75 a 200 m.

Lagunas medianas interconectadas por pequeños arroyos: si bien en cuanto a la forma y a los tamaños son parecidas a las lagunas  de la clasificación anterior, se caracterizan por estar unidas a otras por pequeños corredores que siguen la línea de la

pendiente. Cabe mencionar que dichos corredores se forman en presencia de precipitaciones y/o por el desborde de una cubeta en períodos de lluvias.

Lagunas medianas interconectadas por canales: La diferencia entre estas lagunas y las anteriores radica en que están unidas por canales propiamente dichos. En otras palabras, los pequeños senderos que interconectaban a las lagunas se van ampliando, permitiendo una mayor circulación de las aguas de laguna a laguna siguiendo la pendiente. Cuando el volumen de agua del canal disminuye, suelen ser bloqueados por sedimentos aislándolas transitoriamente hasta un nuevo período de precipitaciones¹⁵.

Grandes lagunas: se trata de lagunas donde los canales que unían una cubeta con otra han pasado a formar parte de ambas lagunas y generan un cuerpo de agua mayor. Este proceso puede involucrar a dos o más lagunas y cuanto mayor sea la cantidad de lagunas que se encuentren en la línea de la pendiente, mayor será la superficie de la “gran laguna” resultante.

Lagunas en su etapa final: se encuentran ubicadas en los límites de la lomada arenosa. Se considera que están en etapa final porque una vez que se conectan con la planicie, tienden a seguir la evolución descripta  y el agua almacenada en la gran laguna escurre hacia la planicie y lleva consigo gran cantidad de sedimentos. Esto erosiona la lomada contribuyendo al avance de la planicie. Las cubetas que se ven involucradas en este proceso, pasan a ser parte de un paisaje de esteros y bañados. Por otra parte, este grupo puede subdividirse según el grado interconexión entre las lagunas y la planicie:

Etapa 1: La laguna se conecta con la planicie a través de pequeñas líneas preferenciales de escurrimiento y canales. 

Etapa 2: La laguna ya forma parte de la planicie y sus aguas escurren paulatinamente hacia ella, pero sin perder la condición de laguna.

Etapa 3: Toda el agua ha escurrido hacia la planicie, dejando de ser una laguna propiamente dicha para ser un área de esteros y bañados.

Si bien estas etapas explicarían lo observado en imágenes satelitales, con el avance de esta investigación, en la actualidad consideramos que dichas etapas de evolución y en consecuencia, la clasificación de lagunas, no serían del todo representativas, ya que por ejemplo, la circularidad de las lagunas no siempre estaría dada por el proceso que le dio origen, sino por el contrario, responde a un proceso de

¹⁵ Se ha comprobado mediante la comparación de fotografías aéreas y de las imágenes obtenidas en Google Earths que la formación del canal puede ocurrir en un período inferior a 50 años.

extinción de la misma, denominado proceso de “redondeamiento”, como se puede observar en la figura 34.

Figura 34.

Proceso de “redondeamiento”, (Bella Vista, Corrientes). Años 2006, 2012 y 2013



Fuente: Google Earth. 28° 30' 46" S y 59° 01' 34" O

Este proceso ha sido estudiado en las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio y fue denominado como “*the roundness process*” o de “terrestrialization” (Paira y Drago, 2006), el cual es utilizado para mencionar al proceso por el cual las lagunas se vuelven circulares por la acumulación de sedimentos, debido a la imposibilidad de rejuvenecerse por estar aisladas del curso superior. Por lo tanto, queda claro que las formas circulares son las adoptadas por las lagunas, no únicamente en su génesis, sino también en su dinamismo geomorfológico y en instantes previos a secarse Contreras *et al.* (2014).

Para Fregenal Martínez y Melendez (2010), los lagos y las cuencas lacustres actúan como trampas de sedimentos que de manera natural tienden a llenarse o colmatarse. Si un sistema lacustre llega a llenarse completamente obtendremos una sucesión que, a gran escala, reflejará la somerización generalizada del lago.

Teniendo en cuenta este proceso natural de colmatación, se podría considerar que las etapas de evolución propuestas anteriormente, pueden desarrollarse en el sentido contrario; pero sería un error hablar de involución, ya que de seguir esta uencia, las lagunas circulares semipermanentes serían la etapa previa a su extinción del cuerpo de agua y no el comienzo de una sucesión de etapas como se propuso inicialmente.

Según Fregenal Martínez y Melendez, (2010), un factor muy importante en la dinámica lacustre, es la conexión o desconexión de su área local de drenaje con la red regional. La distribución entre cuencas endorreicas, cerradas o desconectadas de la red regional, superficial y subterránea, y cuencas exorreicas, abiertas o conectadas regionalmente, es un criterio muy utilizado para diferenciar a los tipos de lagos. Para los autores, las cuencas endorreicas tienen un funcionamiento hidrológico relativamente sencillo, reciben el agua directamente de la lluvia en momentos concretos y breves del año y pierden agua por evaporación.

A su vez mencionan que en contextos áridos y semiáridos suelen albergar lagos evaporíticos de tipo *playa lake*. Las cuencas exorreicas o abiertas son las más comunes, y tienen funcionamientos hidrológicos más variados y diversos; la llegada del agua es tanto directa de las precipitaciones como a través del drenaje regional superficial y subterráneo y está más repartido en el tiempo. Además de perder agua por evaporación pueden presentar drenajes y salidas de agua desde el propio lago. Un factor muy importante en la dinámica lacustre es la conexión o desconexión de su área local de drenaje con la red regional.

En base a lo expuesto, es preciso replantear la clasificación de las lagunas teniendo en cuenta su estado evolutivo y la permanencia de sus aguas:

1.- *Lagunas aisladas semipermanentes*: Son cuerpos de agua muy someros con limitada capacidad de retención de agua, los cuales pueden secarse por completo en períodos secos y resurgir en períodos húmedos. La temporalidad de sus aguas las expone ante impactos antrópicos relacionados con los procesos de extensión urbana en períodos secos (Figura 21).

2.- *Lagunas aisladas permanentes*: Son cuerpos de agua que, sin dejar de ser someros, relacionados con la morfología de la cubeta o bien a su morfometría, por ejemplo la profundidad, poseen mayor capacidad de retención de agua y por lo tanto son resistentes a los períodos secos (Figura 35).

Figura 35
Fotografía de una laguna aislada permanente



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey. Año 2012

3.- *Lagunas con interconexión semipermanente*: Hace mención a un conjunto de dos o más lagunas permanentes o temporales, las cuales se encuentran unidas por líneas preferenciales de escurrimientos o canales que, en períodos secos, pueden quedar aisladas para volver a reactivarse y conectarse en períodos húmedos. Al igual que las lagunas aisladas semipermanentes, con frecuencia los sectores de interconexión sufren el impacto ambiental causado por el trazado de calles y/o caminos, aislando por completo a las lagunas. Si los procesos de sedimentación y colmatación sobre estas

uniones son muy acentuados, pueden, ya sea de forma natural o por impacto del hombre, segmentarse definitivamente y reclasificarse como dos o más lagunas aisladas permanente o semipermanente respectivamente (Figuras 36 y 37).

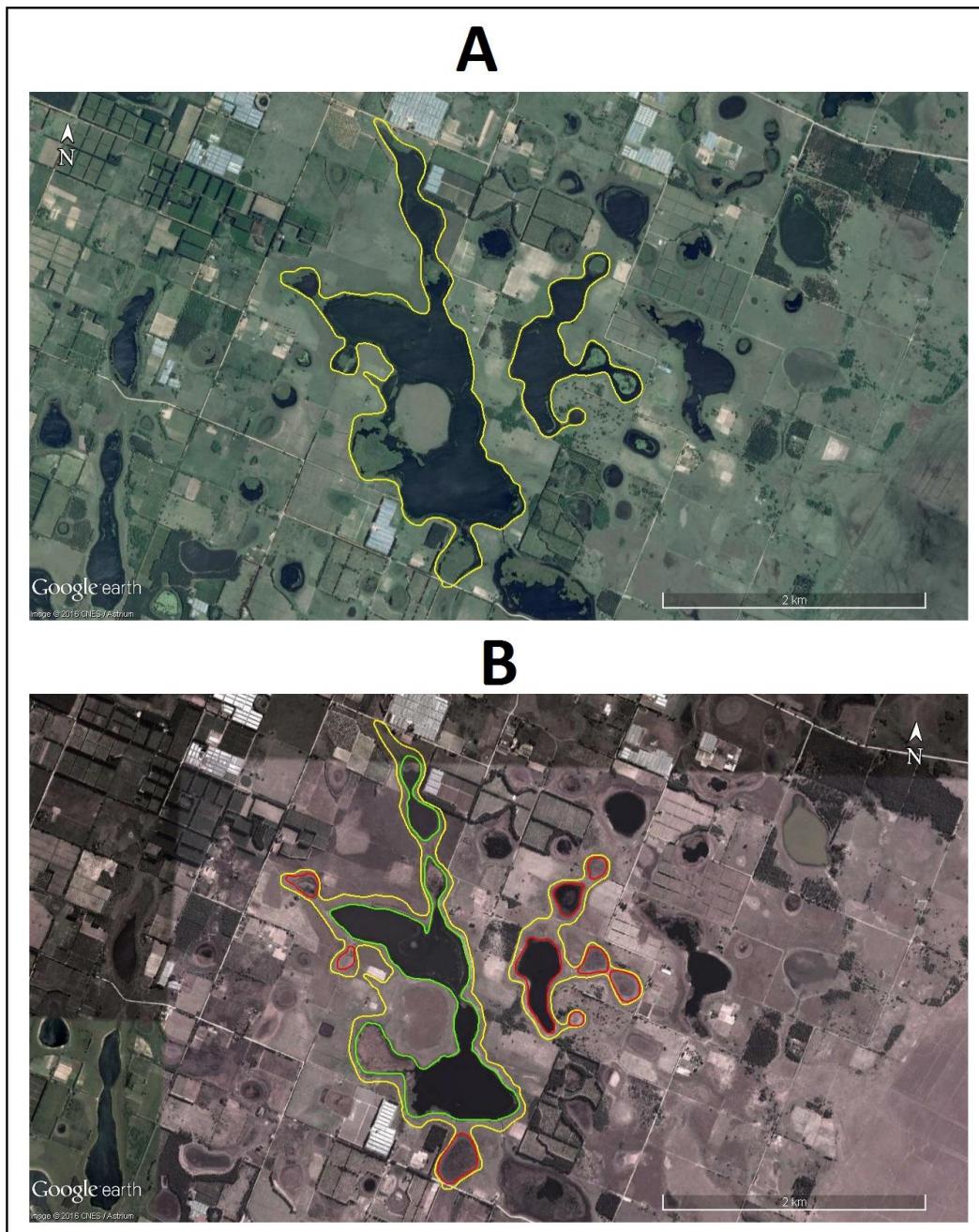
Figura 36
Fotografía con interconexión semipermanente



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey. Año 2014

4.- *Lagunas interconexión permanente*: Contiene a dos o más lagunas permanentes cuya conexión no es interrumpida. En períodos secos puede pasar de canales de conexión a líneas preferenciales de escurrimiento y viceversa en períodos húmedos. Ese paso continuo puede resultar significativo para la ecología acuática, ya que permite la circulación de comunidades de una cubeta a otra, en busca de mejores condiciones del hábitat. El criterio utilizado para discriminar entre lagunas de conexión permanente y semipermanentes se realiza en función de su respuesta en períodos secos como se puede observar en la figura 37.

Figura 37
Laguna de conexión permanente y una de conexión semipermanente



A: Laguna de conexión permanente (izquierda) y una de conexión semipermanente (derecha). B: En amarillo la cubeta máxima, verde las lagunas de conexión permanente y en rojo las lagunas de conexión semipermanente.

Fuente: Google Earth. $28^{\circ} 32' 27''$ S y $59^{\circ} 00' 14''$ O

5.- *Grandes lagunas de formas simples permanentes*: Son un conjunto de lagunas permanentes que actúan como una única cubeta, ya que las interconexiones no sufren alteraciones durante los períodos húmedos y secos. Por lo general agrupan a dos o tres lagunas y su largo máximo es superior a 1 km (Figura 38).

Figura 38
Laguna grande de forma simple



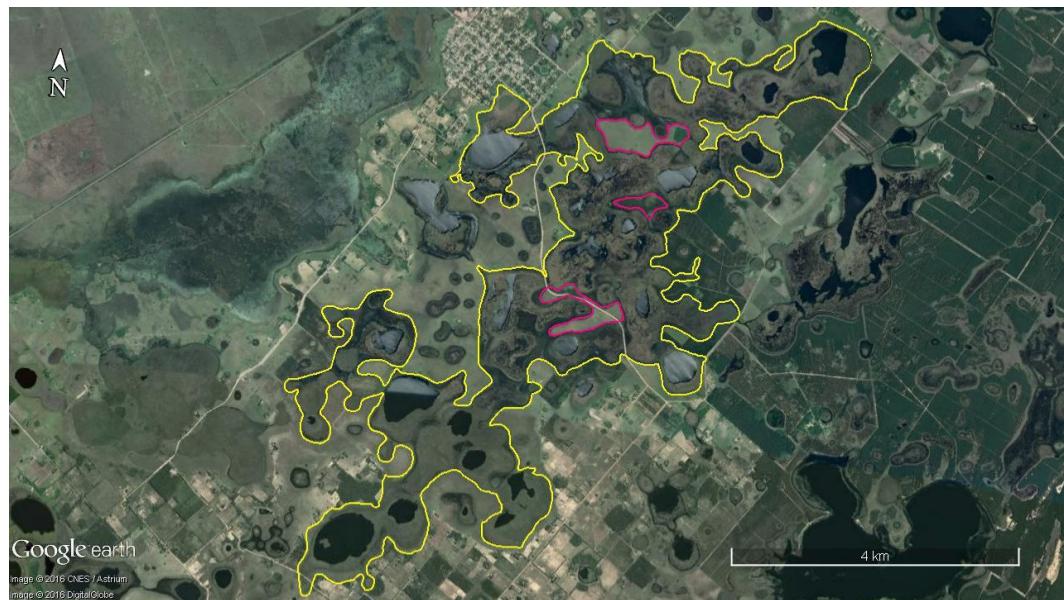
Fuente: Google Earth. 28° 22' 45" S y 58° 18' 24" O

6.- *Grandes lagunas de formas complejas*: Son un conjunto de lagunas, tanto permanentes como **temporales**, las cuales se encuentran unidas en períodos húmedos y se segmentan en períodos secos. Es en este último caso donde se puede apreciar con claridad la totalidad de cubetas que la conforman. Generalmente se encuentran en el centro y en los relieves más planos de las lomadas arenosas, y su forma son el resultado del desborde y anegamiento de áreas circundantes, de allí las formas complejas¹⁶. Solo en este tipo de lagunas se pueden encontrar islas en el interior de la cubeta, las cuales son porciones de lomadas arenosas que han quedado aisladas por las conexiones circundantes de las lagunas (Figura 39).

¹⁶ Las diferencias entre las morfologías simples y complejas se encuentran asociadas al Desarrollo de la Línea de Costa y serán explicadas con mayor detalle en el capítulo de morfometría.

Figura 39

Laguna grande de forma compleja (Amarillo) e islas en el interior de la cubeta (Rosado). San Miguel (Corrientes)



Fuente: Google Earth. 28° 01' 39" S y 57° 35' 03" O

7.- *Lagunas conectadas con la planicie:* Es importante destacar que la permanencia de las aguas en las lagunas conectadas con la planicie en ocasiones puede no depender exclusivamente precipitaciones locales, sino que pueden estar relacionadas con dicha conexión. Esto conlleva a que en odos húmedos ingrese agua desde la planicie (esteros), posiblemente características propias de la laguna, no solo fisicoquímicas o la carga de sedimentos, sino también en las comunidades acuáticas interviniéntes. Este es el principal motivo por el cual no se incluyó la digitalización de estas lagunas, pero sin dudas son necesarias futuras investigaciones que permitan corroborar empíricamente la incidencia de la planicie sobre las características de estos cuerpos de agua (Figura 40).

Figura 40

**Fotografía de la Laguna Brava, conectada con la planicie en su porción oriental.
Departamento Capital (Corrientes)**



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey. Año 2012

Las lagunas conectadas con la planicie merecen especial atención, no solo por lo recientemente mencionado, sino por el rol que cumplen sobre las lomadas arenosas. Como se ha destacado, estas lagunas intervienen en los procesos de erosión de las lomadas, cuyos ejemplos de estos cuerpos de agua se pueden encontrar en los esteros del Iberá.

En Contreras (2011), se propone que en la región de lomadas arenosas los procesos que modifican el paisaje son superficiales siguiendo la ubicación de las lagunas a causa de la pendiente propia de las lomadas. A su vez, dichos procesos pueden constituir la unión de dos o más lagunas y por consiguiente, la formación de una laguna de mayor superficie o bien conectar una laguna con la planicie circundante.  Si ocurre esto último, el agua almacenada en la laguna escurre hacia la planicie arrastrando gran cantidad de sedimentos. Esto erosiona la lomada contribuyendo al avance de la planicie y la o las lagunas que se ven involucradas en este proceso, pasan a ser parte de un paisaje de esteros.

En la figura 41 se comparan los paisajes de lomadas y esteros separados por una línea amarilla. El sector que corresponde a la lomada presenta distintos tonos de verde, (Las tonalidades más claras están asociadas principalmente al pastizal de *Andropogon lateralis*; mientras que las más oscuras corresponderían a isletas boscosas de *Prosopis* sp.), como así también la presencia de aguas permanentes en distintas lagunas. Por el contrario, la planicie presenta tonalidades marrones y más oscuras, con vegetación típica de los paisajes de esteros. Sin embargo, en aquellos sectores de estos frentes  de avance de las planicies, que todavía se encuentran rodeados de lomadas arenosas; pueden presentar paisajes anegables de malezales, como se observa en la figura 42.

Figura 41

Frente de avance de la planicie sobre la Lomada Norte a través de la ubicación de lagunas. (Itatí, Corrientes). Año 2005



Fuente: Google Earth. 27° 24' 25" S y 58° 17' 02" O

Figura 44

Fotografía de un frente de avance de la planicie sobre la lomada (Itatí, Corrientes)



Fuente: Base de datos personal. Año 2013

En los esteros del Iberá, los procesos de erosión mencionados se encuentran muy avanzados, como se observa en la figura 45.

Figura 43

Distribución de *islas* de los esteros del Iberá. Año 2011



Fuente: Google Earth. 27° 50' 30" S y 56° 52' 50" O

Las *islas* (Figura 44), serían sectores elevados discontinuados de una lomada arenosa que, como resultado de la constante erosión, se han segmentado. En la actualidad, principalmente en períodos de creciente, estas islas permiten el asentamiento de población, prácticas de ganadería de subsistencia y hasta es posible encontrar una o dos casas sobre ellas. Responden a procesos naturales en común con la región de lomadas arenosas, ya que ambas regiones se corresponden con el abanico aluvial o mega abanico del río Paraná.

Figura 44
Fotografía aérea de una isla de los esteros del Iberá



Fuente: Fotografía de Edwin Harver. Año 2013

Estos procesos erosivos son progresivos, manifestándose en mayor o menor medida en función de los períodos húmedos. En otras palabras, un mayor volumen en las precipitaciones, sumado a una mayor escorrentía circundante a las lomadas, pueden acelerar los procesos erosivos, disminuyendo la superficie de la lomada y aumentando la de los esteros.

Teniendo en cuenta la morfología y las etapas evolutivas de las lagunas, existen dos tipos de dinámicas geomorfológicas que modelan sus cubetas. La primera son los procesos **intra-cubeta** de contracción y expansión del área limnética, como respuesta a

las precipitaciones locales de los períodos húmedos y secos. Por otro lado, los procesos **extra-cubeta** que en períodos húmedos, al desbordarse la misma, da lugar la formación de líneas preferenciales de escurrimiento o bien escurrimiento laminar de tratarse de áreas planas y en períodos secos dichas conexiones pueden desaparecer segmentando a una laguna en varias cubetas menores. 

De formarse una línea preferencial de escurrimiento y como ya se ha mencionado, posteriormente se irá ensanchando dando lugar a la formación de lagunas más grandes o interconectándolas con la planicie. En este proceso predomina la erosión y se lo puede detectar en aquellos lugares de las lomadas arenosas con marcada pendiente en lagunas que poseen un alineamiento muy evidente (Figura 45).

Figura 45

Fotografía de una línea preferencial de escurrimiento (superior) y líneas preferenciales de escurrimiento (inferior) (Año 2013).



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey. Año 2012. Imagen de Google Earth 28° 40' 06" S y 58° 25' 09" O

Por el contrario, el escurrimiento laminar ocurre en aquellos sectores más planos de las lomadas, anegando grandes extensiones circundantes a las lagunas. En estos lugares no siempre la laguna ocupa una posición central y suele ser difícil discriminar con precisión la cubeta del paisaje circundante que se encuentra anegado (Figuras 46 y 47). En las figuras mencionadas se observa la explicación de lo mencionado por Fregenal Martínez y Meléndez, (2010: 307), cuando afirmaban que “*la abundancia de rasgos y facies palustres se debe a dos razones: 1) Sus dimensiones y su relleno rápido suelen suponer la extensión del ambiente palustre que en términos temporales puede incluso tener más entidad que el lacustre. 2) La escasa profundidad permite que variaciones de diversas magnitudes en el volumen de agua se manifiesten en oscilaciones de la lámina de agua y la exposición subaérea de extensas áreas lacustres que pasarán a encontrarse en ambiente palustre*”.

“*El clima, controla la cantidad de agua, determinando las subidas y bajadas del nivel de agua lacustre y, por lo tanto, pudiendo invertir de forma progresiva o brusca, o bien truncar la tendencia natural a la colmatación*”. Fregenal Martínez y Meléndez, (2010: 365).

Figura 46

Aneamiento sobre la lomada arenosa como resultado del desborde de una laguna (San Cosme, Corrientes)



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey. Año 2012

Figura 47

Áreas anegables circundantes a pequeñas lagunas (Esquina, Corrientes). Años 2013 y 2016



Fuente: Google Earth. 29° 57' 26" S y 59° 27' 30" O

Un paisaje similar se presenta en Boa Vista (Roraima, Brasil) donde, según Nunes da Silva Meneses (2010), cerca de 80% de los lagos someros están íntimamente relacionados a los flujos lineales del agua superficial y son, por lo tanto, esencialmente formadores del drenaje que mantienen distintos niveles de conexión. Este sistema de lagunas, para la autora, puede alimentar diferentes cuerpos de agua, incluso otras

lagunas localizadas en áreas topográficas más bajas o bien ser alimentados por otras de lugares más elevados (Figura 48).

Al igual que las lagunas de lomadas arenosas, según Simões Filho *et al.* (1997), su origen aún es una incógnita, se desenvuelven en una extensa superficie plana, con vegetación de sabanas, configurando un escenario muy distinto a los encontrados en los dominios amazónicos, pese a encontrarse rodeada por ellos.

Figura 48
Fotografía de lagunas del paisaje de Boa Vista (Roraima, Brasil)



Fuente: <https://ssl.panoramio.com/photo/50453498>

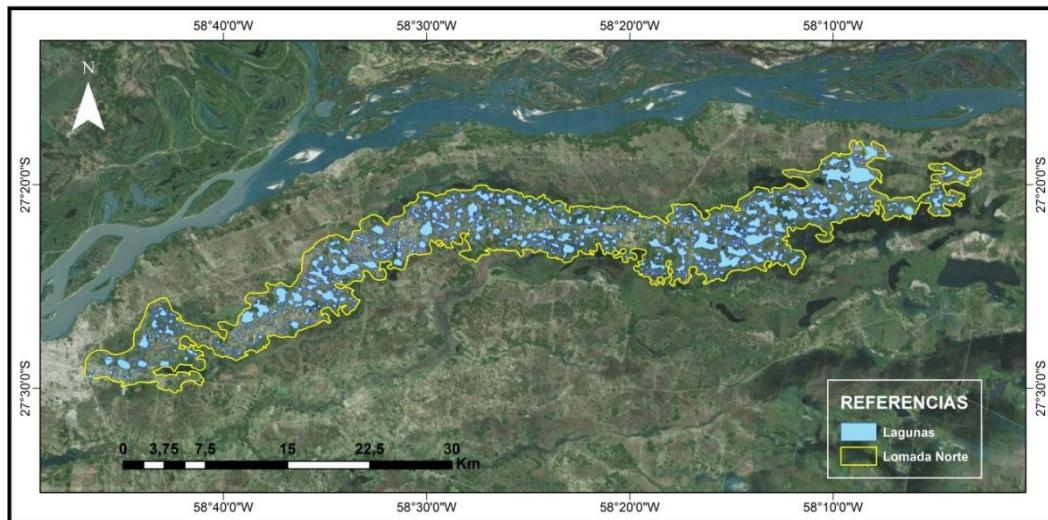
A los fines prácticos de poder realizar comparaciones representativas, a continuación de describen las tres principales lomadas arenosas que conforman esta región (*Lomada Norte del Riachuelo, Lomada Ita Ibaté – Bella Vista y Loma San Miguel – Goya*):

3.3.1. Lomada Norte del Riachuelo

Se encuentra interpuesta entre el arroyo Riachuelo y el río Paraná (Figura 49), extendiéndose entre la ciudad de Corrientes hacia el este, hasta Ramada Paso; abarca un superficie de aproximada de 352 Km², con 5 Km de ancho y 80 Km de largo y alberga

más de 925 cubetas que incluyen desde pequeños cuerpos de agua transitorios hasta grandes lagunas permanentes.

Figura 49
Distribución de lagunas en la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)

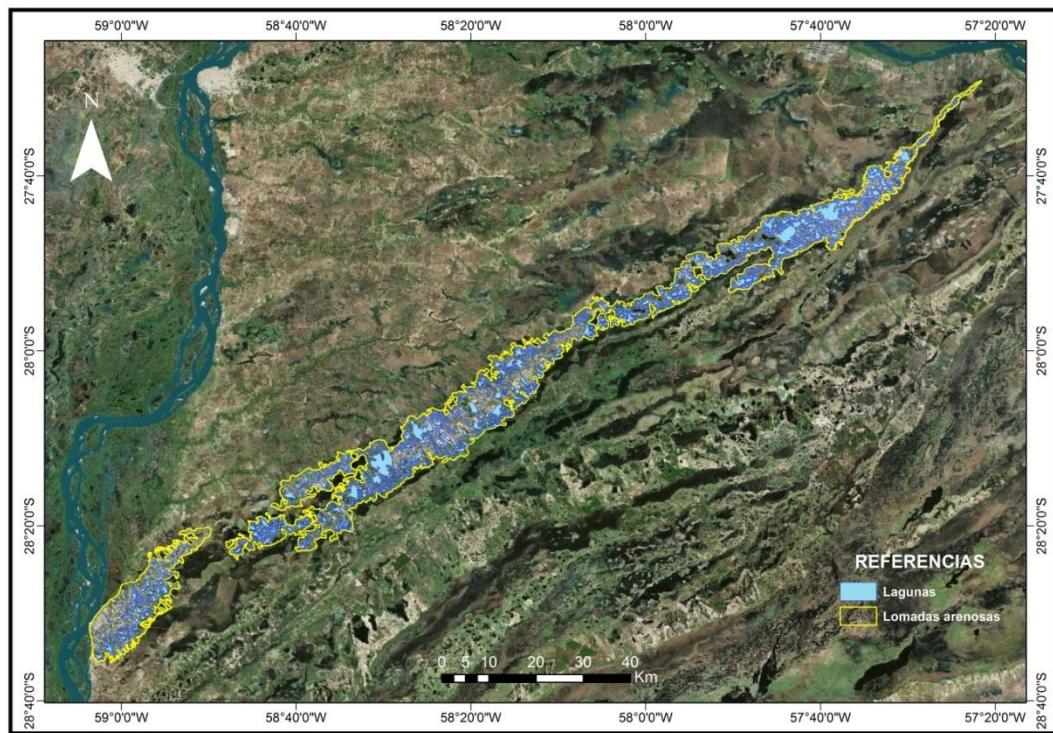


Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

3.3.2. Lomada General Paz – Bella Vista

Se encuentra interpuesta entre el arroyo Ambrosio, esteros San Lorenzo y Leguizamón al Norte y el río Santa Lucía, esteros del mismo nombre y Lama al sur (Figura 50), extendiéndose desde el departamento General Paz hasta la localidad de Bella Vista; abarca un superficie de aproximada de 1.299 Km², con 10 Km de ancho y 208 Km de largo y contiene 3.811 lagunas.

Figura 50
Distribución de lagunas en la lomada General Paz – Bella Vista (Corrientes, Argentina)

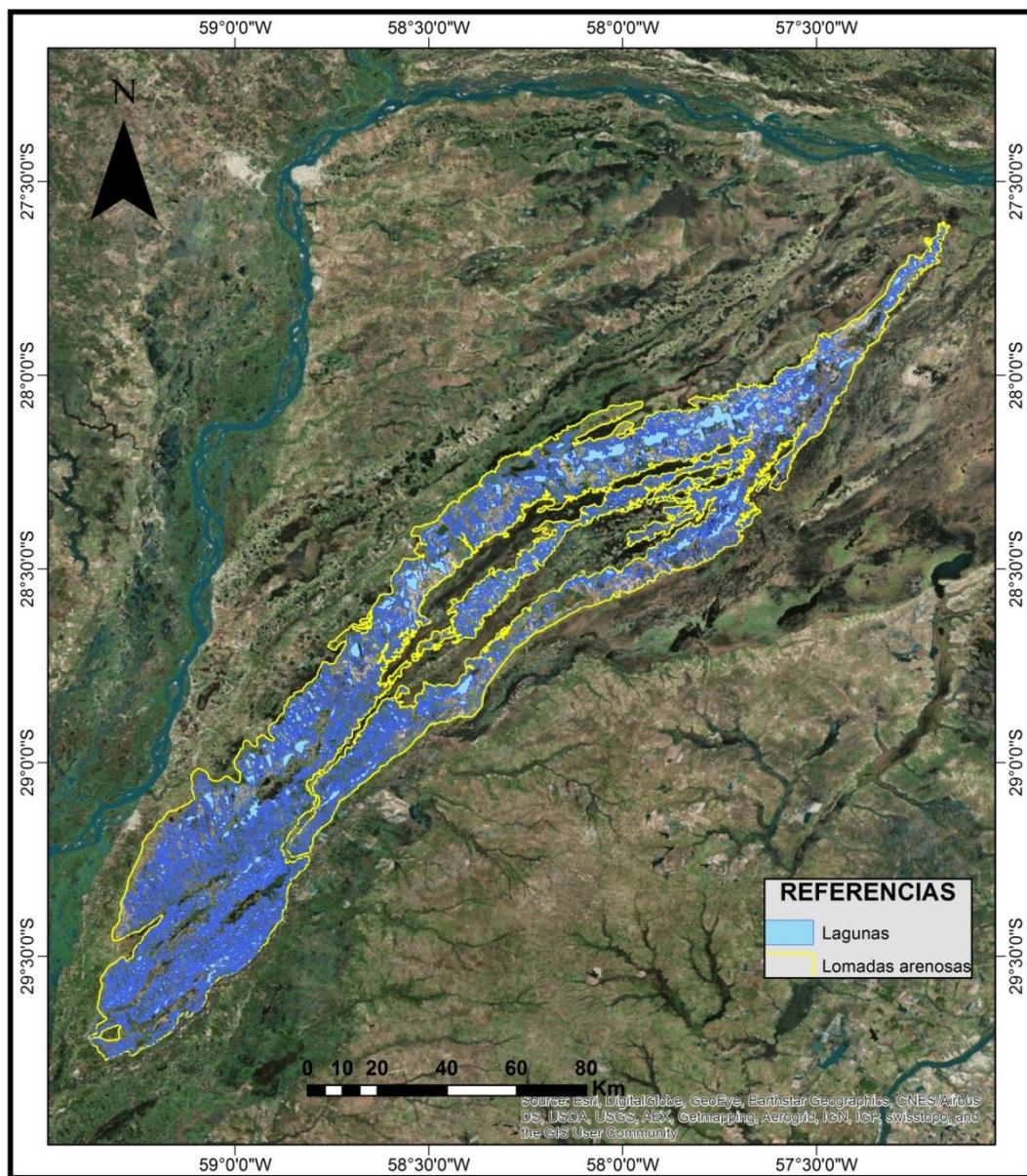


Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

3.3.3. Lomada San Miguel – Goya

Consideramos a esta tercera lomada como la principal, no sólo por su extensión y superficie, sino también por contener el 60% de la totalidad de lagunas localizadas en esta región de la provincia de Corrientes (Argentina). Se ubica entre los ríos Santa Lucía y Corriente, posee la misma dirección general que la anterior lomada (NE – SO), desde el departamento San Miguel hasta el sur del departamento Goya. Abarca una superficie aproximada de 7.807 Km², con 41 Km de ancho y 327 Km de largo y contiene 23.662 lagunas (Figura 51).

Figura 51
Distribución de lagunas en la lomada San Miguel - Goya (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

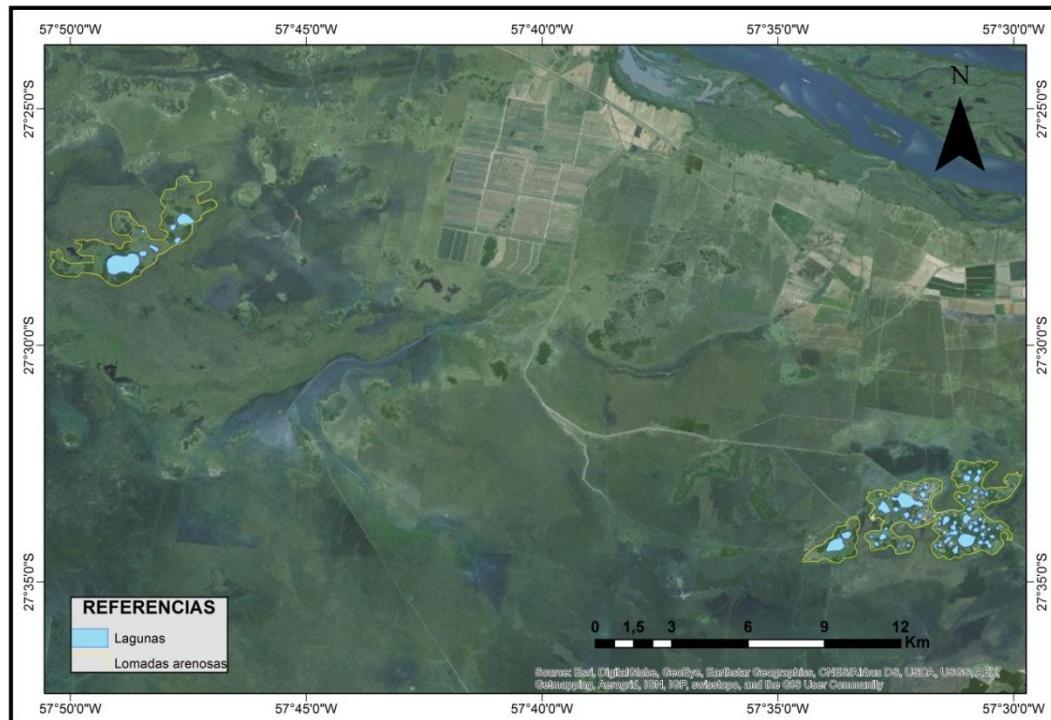
Es evidente que existe una relación directa entre la superficie de la lomada y la cantidad de lagunas que contiene, como se ha visto en las figuras 49, 50 y 51.

Al calcular la densidad de lagunas sobre la superficies de las lomadas que las contienen, las tres unidades presentarían una densidad promedio de tres lagunas (L)/Km² (2,63 en la Lomada Norte; 2,93 en la Lomada Gral. Paz – Bella Vista y 3,03 en la Lomada San Miguel – Goya). Otro ejemplo significativo son las lomadas del departamento Berón

de Astrada (Figura 52), las cuales suman entre las dos 20 Km² y una totalidad de 61 lagunas (3 L/Km²). En definitiva, se puede concluir que naturalmente sobre el paisaje de lomadas arenosas existe un patrón general de 3 L/ Km² (Tabla 1).

Figura 52

Distribución de lagunas en el departamento Berón de Astrada (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

Al tomar el patrón de densidad de distribución, que responde a unidades de análisis naturales, y ajustarlo a unidades de análisis a nivel de jurisdicción política-administrativa, lo que constituye un corte antrópico, se pone en evidencia (Tabla 1) que el patrón de 3 lagunas por Km² sigue siendo representativo, confirmando lo anteriormente expuesto.

A modo de comparación se puede señalar que en la República Argentina existen 0,4 lagunas / Km² en la Patagonia Austral Extracordillerana (Mazzoni 2001) y 1 lagunas / Km² en la provincia de Buenos Aires (Bohn *et al.* 2011; Toresani *et al.* 1994).

Tabla 1. Cantidad de lagunas, superficie total, porcentaje de la superficie, porcentaje de la lomada que la contiene y densidad de lagunas por departamento (Corrientes, Argentina)

Departamentos	Cantidad	Superficie Total (Km ²)	Sup/Depto (%)	Sup/Lomada (%)	Densidad (Lag/Km ²)
Bella Vista	1.001	98	5	17	2
Berón de Astrada	61	3	0	18	3
Capital	114	5	1	12	3
Concepción	6.529	490	10	19	3
Esquina	8.364	244	6	18	6
General Paz	1.243	125	5	29	3
Goya	9.525	479	10	21	4
Itatí	308	34	4	28	2
Ituzaingó	817	94	1	19	2
Lavalle	2.812	144	9	18	3
Mburucuyá	1.151	73	7	21	3
Saladas	1.151	89	5	22	3
San Cosme	499	36	6	20	3
San Luis del Palmar	56	3	0	12	2
San Miguel	1.718	224	8	26	2
San Roque	3.577	280	11	20	3
Totales	38.926	2421	6	20	3

Fuente: Elaboración personal

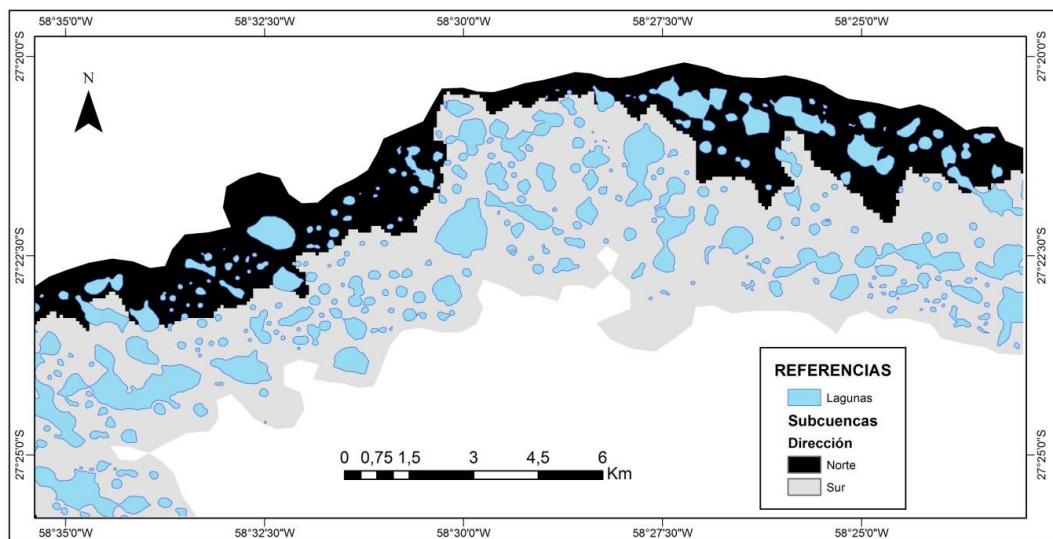
3.4. Incidencia de la pendiente en la evolución de las lagunas

Es evidente que la pendiente juega un rol fundamental en el modelado de las lomadas arenosas y en este sentido los SIG, mediante los MDE y la generación de modelos de escurrimiento, permiten describir con mayor precisión lo recientemente señalado.

Mediante el análisis espacial de los MDE se pudo, entre otras cosas, determinar la dirección de la pendiente y delimitar las subcuencas de las lomadas arenosas. Dicho análisis, por ejemplo, permite inferir la dirección general del escurrimiento y con ello predecir en qué dirección ocurrirán las diferentes etapas evolutivas de las lagunas, hasta convertirse en esteros (Figura 53).

Cabe destacar que si bien en la figura 53 se muestran únicamente los resultados de un sector de la lomada Norte, el mismo análisis fue realizado en las distintas lomadas, obteniéndose resultados similares.

Figura 53
Delimitación de las subcuenca sobre la Lomada Norte (Corrientes, Argentina)



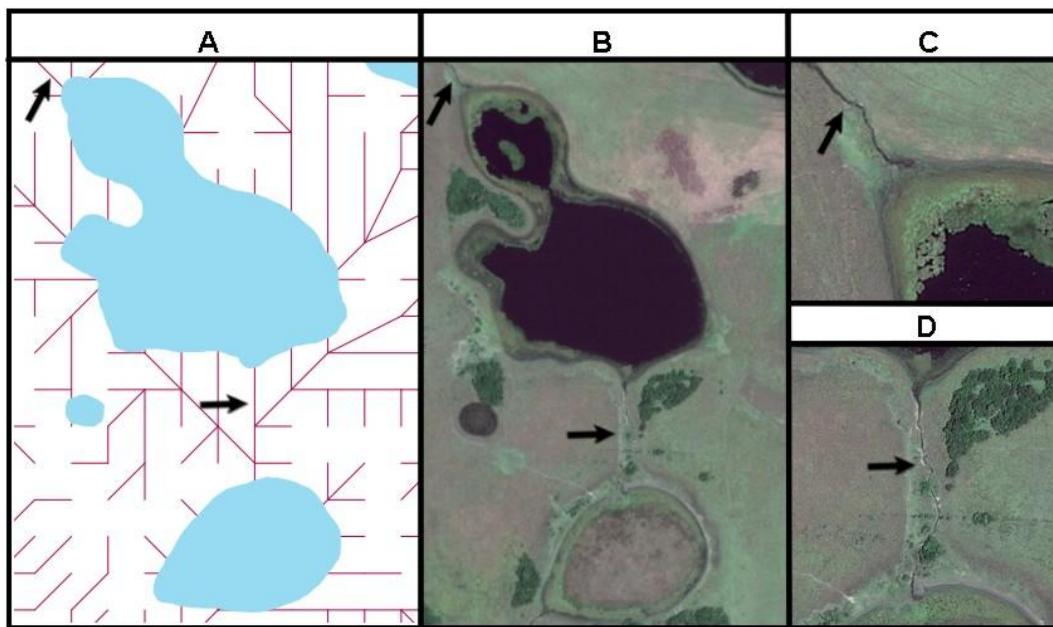
Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

La irregularidad del relieve permite explicar los distintos alineamientos que ocurren dentro de cada subcuenca. A su vez, el hecho que las lagunas no se conecten con otras que pertenecen a una subcuenca diferente, excepto en aquellos casos en donde la unión está dada por líneas preferenciales de escurrimiento o canales debido a la acción regresiva, sugiere que el proceso evolutivo deducido se desarrollaría dentro de cada subcuenca.

Sin embargo, el resultado más significativo obtenido del análisis espacial es un modelo de escurrimiento superficial, el cual a partir de una capa de polilíneas, se pone en evidencia con claridad la irregularidad de la dirección del escurrimiento sobre la lomada arenosa.

En la Figura 54 se comparan el resultado del análisis espacial con las imágenes de Google Earth. Como se observa, los resultados del modelo (A), coincide con las líneas preferenciales de escurrimientos observadas en Google Earth (B), lo cual permite corroborar la veracidad de los resultados obtenidos en ArcGIS. A su vez en la Figura 54.C y D, se ha ampliado la escala, con el objeto de apreciar con mayor detalle la Figura 54.B.

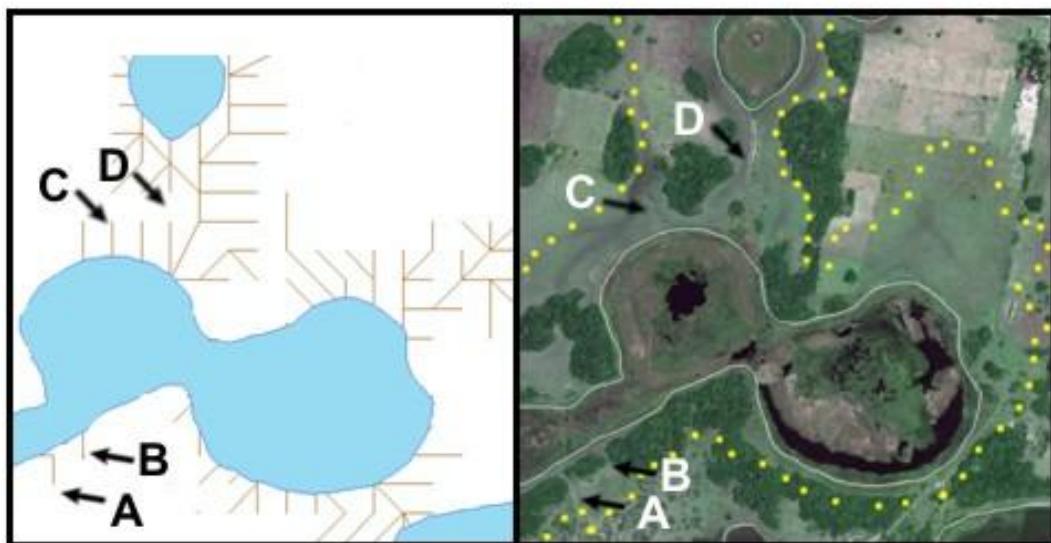
Figura 54
Comparación entre el modelo de escurrimiento e imágenes satelitales



Fuente: Elaboración personal e imágenes de Google Earth. $27^{\circ} 22' 36''$ S y $58^{\circ} 21' 24''$ O

Asimismo, la generación de este modelo no se limita a la identificación de las líneas preferenciales de escurrimiento. Esta cartografía de polilíneas puede ser considerada para delimitar la cuenca receptora de cada laguna (Figura 55), y de ese modo, colaborar en la prevención de algún determinado riesgo, tanto de erosión como de anegamiento, contaminación, instalación de viviendas, etc.

Figura 55
Delimitación de la cuenca de la laguna. San Cosme, Corrientes



Fuente: Elaboración personal e imágenes de Google Earth. $27^{\circ} 22' 19''$ S y $58^{\circ} 25' 41''$ O

La figura 57, muestra cuatro líneas de escurrimiento que coinciden con las generadas con el modelo. La línea D se encuentra cortada en el modelo; esto puede deberse al pequeño bosque interpuesto y que la imagen SRTM lo considera como una elevación del terreno, no obstante existe una similitud importante entre la imagen y el modelo.

Los resultados obtenidos demostraron ser válidos al encontrar coincidencias con la ubicación de las líneas preferenciales de escurrimiento observadas en imágenes de Google Earth. En este sentido, se propone esta herramienta para ser aplicada en áreas de escasas alturas, pero con marcados gradientes topográficos.

La topografía con pendientes en diversas direcciones que se manifiesta sobre una lomada arenosa, permite explicar los diversos alineamientos que poseen las distintas interconexiones entre las lagunas.

Los conocimientos acerca de los tipos de escurrimiento encontrados en las lomadas arenosas y especialmente sobre la generación de líneas preferenciales de escurrimiento en el paisaje, si bien pueden resultar de relativa significancia en función de sus reducidos tamaños en relación a la extensión de la región; recién cobran importancia al agrandar la escala, cuando por ejemplo, se toma a una laguna en particular como estudio de caso.

Una línea preferencial de escurrimiento, dependiendo de la pendiente y de la disponibilidad de agua, no sólo es una conexión directa entre lagunas, sino que a su vez puede, entre otras cosas, intervenir en la modificación del paisaje a través de la erosión y sedimentación. En este sentido, pueden ocurrir dos situaciones: 1- Erosionar y ensanchar el canal que conecta dos cuerpos de agua, 2- Depositar sedimentos en la cubeta que se encuentre en un nivel topográfico más bajo.

De ocurrir el primero, permitirá la circulación de un mayor caudal de agua y contribuirá al aumento de la superficie del canal y se pasará de tener dos lagunas interconectadas a tener una única laguna; teniendo en cuenta las etapas de evolución mencionadas anteriormente. No obstante, al tratarse de sistemas cerrados, los sedimentos generados a partir de la erosión del canal o de la laguna que se encuentra en un nivel topográfico más alto, se depositarán en aquella que se encuentre topográficamente a menor altura. Con lo cual, de ocurrir esta segunda situación, la laguna que recibe los sedimentos con el tiempo se irá colmatando, reduciendo su capacidad de captación de agua y en consecuencia, puede pasar de ser una laguna de aguas permanentes a una de aguas semipermanentes.

La idea anterior no solo se fundamenta en los modelos generados, sino que también se han detectado, en reiterados casos, pequeños abanicos aluviales cuando la línea preferencial de escurrimiento ingresa a la segunda laguna (Figura 56), pudiendo ser de relativo gran porte, cuando el terreno circundante sufrió remoción del suelo relacionado con la agricultura o forestación (Figura 57).

Figura 56

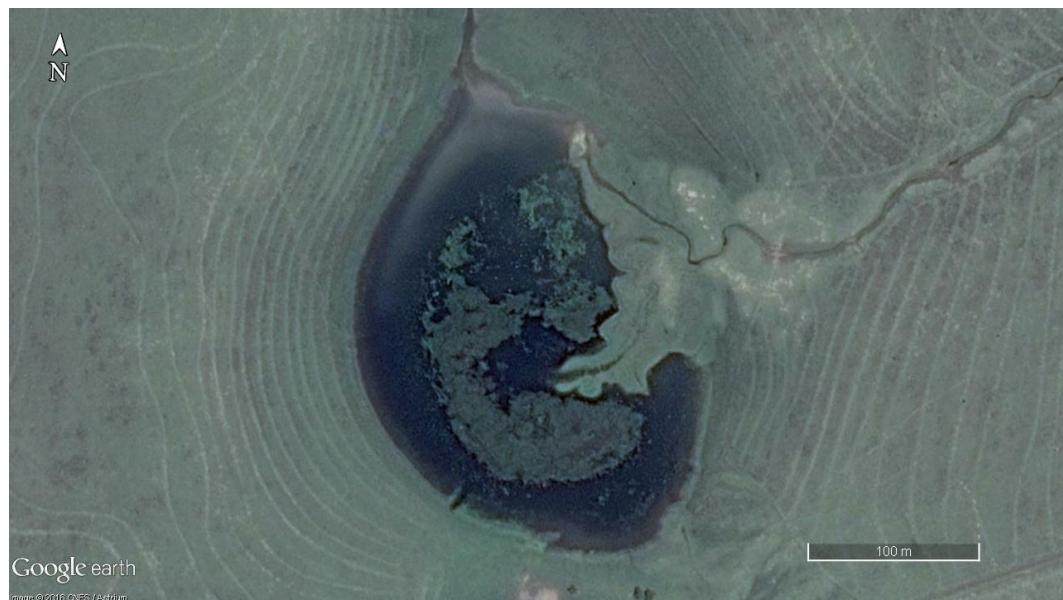
Pequeños conos aluviales en el interior de una laguna (Concepción, Corrientes). Año 2013



Fuente: Google Earth. 28° 16' 59" S y 57° 54' 59" O

En general, según Fregenal Martínez y Meléndez, (2010), el proceso de formación de sistemas deltaicos lacustres es similar al de los deltas marinos. La corriente entrante transporta grandes cantidades de sedimentos y al ponerse en contacto con el lago y expandirse el flujo pierde su competencia y capacidad y suelta la carga, al mismo tiempo que la magnitud de la carga impide que los procesos litorales puedan retrabajarla y redistribuirla eficazmente, de modo que queda asociada a la desembocadura formando algún tipo de acumulación deltaica.

Figura 57
Sistema deltaico lacustre en el interior de una laguna (Lavalle, Corrientes). Año 2013



Fuente: Google Earth. 29° 04' 01" S y 59° 05' 05" O

De acuerdo con Quirós (2004: 13) “*Las lagunas, especialmente aquellas más pequeñas, son un componente central del extenso humedal. Debido al drenaje y canalización crecientes en búsqueda de la “agriculturalización” del humedal, sumados al colmatado de las cubetas ocasiona por la erosión del suelo; su abundancia y tamaño estarían disminuyendo constantemente*”. La figura 57 es un claro ejemplo de ello y de cómo la actividad del hombre, principalmente aquellas que implican remoción del suelo, contribuyen a la extinción de las lagunas.

En este sentido, según Durán Valsero *et al.* (2009: 334), “*la modificación de alguna característica propia de un humedal, implica el reajuste del ecosistema a las nuevas condiciones. Hay que tener en cuenta que una vez que se han perdido las características iniciales de un humedal, es muy difícil recuperar y restablecer las condiciones ambientales primigenias, llegando incluso a desaparecer, si estos cambios son importantes*”.

Por otra parte, la figura 57 demuestra cómo los procesos naturales pueden potenciarse con el actuar del hombre, dejando en evidencia la fragilidad del paisaje de lomadas arenosas y en especial a la vulnerabilidad de sus lagunas a sufrir modificaciones considerables en su morfometría y en consecuencia a la calidad de sus aguas entre otros.

Capítulo 3

Morfometría de las lagunas de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes, Argentina

Los estudios limnológicos son fundamentales, especialmente los referidos a los procesos geomorfológicos, ya que constituyen la base de otros estudios más específicos e inclusive de otras ciencias, puesto 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 las características geológicas de su cubeta y de su cuenca (Vega *et al.* 2005).

Los resultados de la aplicación de métodos cuantitativos en ecología del paisaje se agrupan en los denominados *índices de paisaje*. Estos aportan datos numéricos sobre la composición y la configuración de los paisajes, la proporción de cada cubierta del suelo o la superficie y la forma de los elementos del paisaje. Además, los índices de paisaje permiten una comparación entre distintas configuraciones paisajísticas, de una misma área en distintos momentos temporales o bien en la definición de escenarios futuros (Gustafson 1998; Vila *et al.* 2006).

“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)

“Los procesos geomorfológicos que dieron origen a un lago también controlan las características de su drenaje, las entradas naturales de nutrientes y, a través de su volumen, la relación entre el caudal de entrada y el tiempo de renovación del agua en el lago. La importancia del estudio de la morfometría de un lago reside principalmente en que la forma del mismo es uno de los determinantes más generales, junto con el clima y el tipo de suelos de su cuenca de drenaje, de su productividad biológica”. (Quirós, 2004: 2).

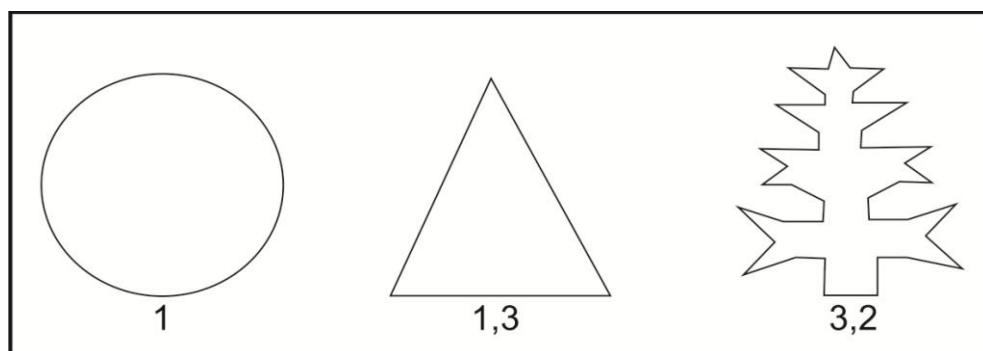
Numerosos autores destacan que la morfometría de los lagos son fundamentales en estudios limnológicos y deberían de constituir el punto de partida de toda investigación,

ya que de acuerdo con Cabrera *et al.* (2006) incide directamente en las características fisicoquímicas de sus aguas (Quirós 2004; Wetzel 2001; Hutchinson, 1938), su estado trófico (Jørgensen y Vollenweider 1988; Vollenweider 1990), distribución y abundancia de organismos (Tavernini *et al.* 2003; Solabarrieta y Weibezahn 1980; Wetzel, 1979), variabilidad de hábitats (Montoya *et al.*, 2011; Hamilton y Mitchell, 1996; Hoagland, y Peterson 1990), entre otros.

Al hacer referencia a las características y la clasificación de lagos, Timms (1992), menciona que: *“Sorprendentemente, los lagos no son fáciles de definir con exactitud. Generalmente no es difícil distinguir entre los sistema 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?"*

Una de las primeras clasificaciones de formas de lagos la realizó Hutchinson (1957) para todos los lagos del mundo y varios años después Timms (1992), la empleó para describir los lagos australianos. Esta última clasificación se basó en la forma (Figura 58), es decir la figura exterior, planimétrica o en planta, que presentan estos cuerpos de agua en combinación principalmente, con el parámetro morfométrico denominado Desarrollo de la Línea de Costa (D_L).

Figura 58
Representación Gráfica del Desarrollo de la Línea de Costa de tres lagos con formas hipotéticas circular, triangular y dendrítica



Fuente: Timms, (1992)

Asimismo, el D_L permite realizar trabajos de larga data como ser, por ejemplo, comparaciones de los cambios morfológicos que pueden manifestarse en los cuerpos de agua en cortos y en largos períodos de tiempo.

Dichos cambios, están asociados a procesos de conectividad o aislamiento de las lagunas que influirían en las relaciones tróficas y en las características del plancton y de las comunidades de peces (Neiff 2003).

Los métodos cuantitativos en ecología del paisaje son aplicables a un triple nivel (McGarigal y Marks 1995; Botequilha *et al.* 2006; Vila *et al.* 2006), los cuales fueron aplicados en este Capítulo:

a) *A nivel de fragmento*: Los cálculos se aplican a cada fragmento individualmente. Es el nivel adecuado, por ejemplo, para determinar cual es el fragmento de mayor superficie entre todos los representados. Este nivel se considera al estudio de cada laguna de forma individual, para la cual se le ha calculado sus valores morfométricos de perímetro, superficie y D_L .

b) *A nivel de clase*: Los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase, es decir, a aquéllos que tienen el mismo valor o que representan el mismo tipo de uso del suelo, hábitat, etc. Se clasificaron a las lagunas según sus formas y se analizaron estadísticamente por tipo, a fin de obtener estadísticas descriptivas más representativas de cada grupo.

c) *A nivel de paisaje*: Los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez. El resultado nos informa del grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto del área que se ha cuantificado. Mediante el Análisis de Componentes Principales, se analizaron los Departamentos con el objeto de encontrar patrones de paisajes y clasificar a las lomadas en función de ello.

4.1. Morfometría de las lagunas de las lomadas arenosas

El análisis estadístico mostró que (Tabla 2), en todas las variables, los datos se distribuyeron con una asimetría positiva y de forma leptocúrtica. La superficie promedio de las lagunas es de $61.303,57 \text{ m}^2 \pm 491.274,01 \text{ m}^2$, variando entre $90,07 \text{ m}^2$ y $61.929.211 \text{ m}^2$. Predominan las lagunas pequeñas (85% del total se encuentra por debajo de la media), de las cuales 11.580, el 30% del total no supera los 5.000 m^2 de superficie (Ver frecuencias de los valores morfométricos por departamentos en Anexos 16 – 32)..

En cuanto al perímetro, el valor medio es de 742,80 m, variando entre 37,66 m y 124.559,76 m. En concordancia con los valores del área, el 75% de las lagunas posee un perímetro inferior al valor medio.

Por otra parte, 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 son una excepción dentro de las lomadas arenosas.

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

Variable	Media	D.E.	Mín.	Máx.	Asimetría	Kurtosis
Área	61.303,57	491.274,01	90,07	61.929.211,1	65,8	7.004,26
Perímetro	742,80	1.704,18	37,66	124.559,76	22,15	1001,36
D_L	1,14	0,23	1	5,73	4,52	36,32

Fuente: Elaboración personal

Tabla 3. Características cuantitativas de las lagunas de los departamentos de la provincia de Corrientes (ANOVA)

Departamento	Medias	N	E.E.			
Esquina	557,75	8.364	18,55	A		
Lavalle	609,61	2.812	32,00	A	B	
Capital	631,65	114	158,91	A	B	
Goya	711,79	9.525	17,38	A	B	
San Luis	718,89	56	226,72	A	B	
Beron de Astrada	733,59	61	217,23	A	B	
Mburucuya	767,96	1.151	50,01	A	B	
Concepcion	779,54	6.529	21,00	A	B	
San Roque	782,81	3.577	28,37	A	B	
Saladas	830,48	1.151	50,01	A	B	
San Cosme	869,50	499	75,95	A	B	
Bella Vista	980,07	1.001	53,63	A	B	C
San Miguel	982,15	1.718	40,93	A	B	C
Gral Paz	1.024,87	1.243	48,12	A	B	C
Itati	1.082,16	308	96,68		B	C
Ituzaingo	1.418,65	817	59,36			C

Test: Tukey Alfa = 0,05 DMS = 481,59899

Error: 2.878.592,5072 gl: 38.910

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración personal

El perímetro y el D_L difieren significativamente entre departamentos. Además, 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 DL la correlación es significativa y positiva aunque baja ($r= 0,41$, $p <0,00$).

De acuerdo con la clasificación de formas de lagunas propuesta por Timms (1992) en función de los valores de D_L , en las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes el 72% posee una forma circular (27.996), seguidas de las subcirculares 14% (5.494), triangulares 13% (4.991), irregulares simples 1% (451), las dendríticas (49) y por último las irregulares complejas (12). Solo en los departamentos de Esquina, Goya Ituzaingó, Mburucuyá y San Miguel se encontraron las seis formas de lagunas, mientras que los demás departamentos presentaron en su mayoría cuatro formas, exceptuando a San Roque y Concepción quienes poseen lagunas dendríticas.

Respecto a la clasificación de formas en función del D_L , en esta Tesis se proponen dos grandes grupos: 1- *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 2- *Lagunas de Formas Complejas*: Comprenden a las lagunas Irregulares Simples (2 – 2,99), Dendríticas (3 – 3,99) e Irregulares Complejas (≥ 4) (Tabla 4 Y 5).

Como se ha mencionado, las Formas Simples serían las más representativas en la 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 existen departamentos sin la presencia de las mismas como en el caso de Capital, Berón de Astrada y San Luis del Palmar.

Tabla 4. Frecuencia de las distintas formas simples de lagunas en los Departamentos de Corrientes, Argentina

Departamentos	Nº	C (N)	C (%)	SC (N)	SC (%)	T (N)	T (%)
Bella Vista	1.001	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	6.529	4.697	72	979	15	786	12
Esquina	8.364	5.987	72	1.160	14	1.106	13
General Paz	1243	873	70	166	13	183	15
Goya	9.525	7.072	74	1.231	13	1.131	12
Itatí	308	205	67	52	17	44	14
Ituzaingó	817	340	42	177	22	241	29
Lavalle	2.812	2.186	78	326	12	282	10
Mburucuyá	1.151	890	77	156	14	93	8
Saladas	1.151	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	1.718	1.189	69	261	15	249	14
San Roque	3.577	2.394	67	586	16	526	15
Totales	38.926	27.996	72	5.494	14	4.991	13

C: Circulares, SC: Subcirculares y T: Triangulares

Fuente: Elaboración personal

Tabla 5. Frecuencia de las distintas formas complejas de lagunas en los Departamentos de Corrientes, Argentina

Departamentos	Nº	IS N	IS %	D N	D %	IC N	IC %
Bella Vista	1.001	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	6.529	56	1	11	0	0	0
Esquina	8.364	98	1	11	0	2	0
General Paz	1.243	17	1	4	0	0	0
Goya	9.525	81	1	6	0	4	0
Itatí	308	7	2	0	0	0	0
Ituzaingó	817	52	6	4	0	3	0
Lavalle	2.812	15	1	3	0	0	0
Mburucuyá	1.151	10	1	1	0	1	0
Saladas	1.151	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	1.718	16	1	1	0	2	0
San Roque	3.577	63	2	8	0	0	0
Totales	38.926	451	1	49	0	12	0

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

Fuente: Elaboración personal

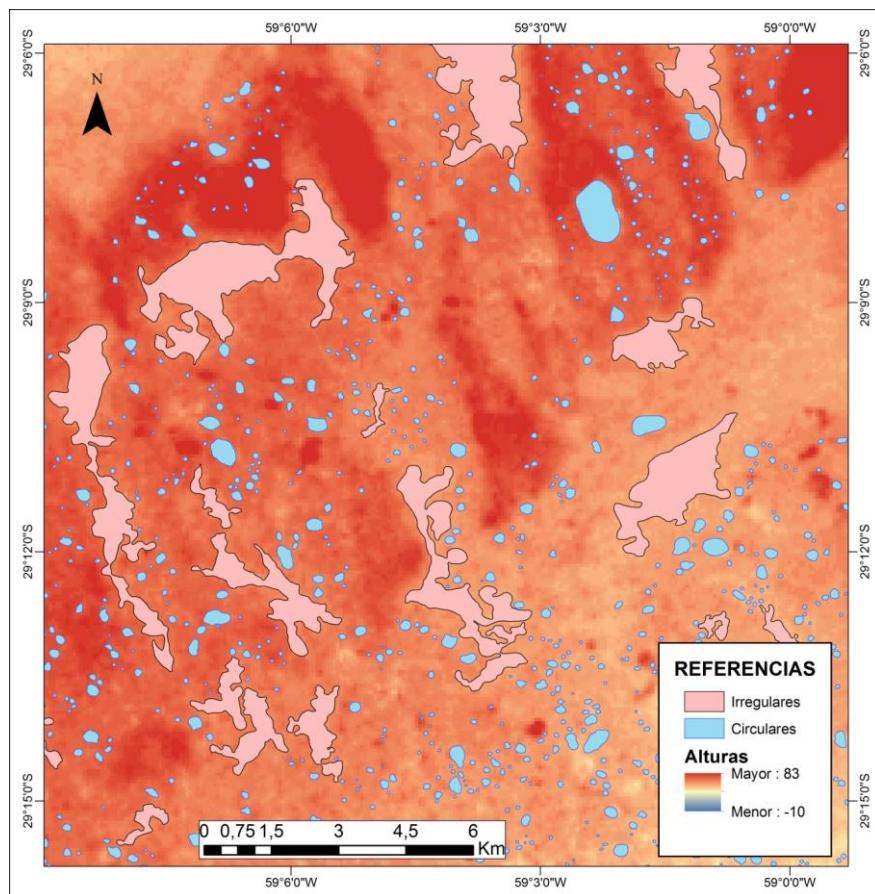
El análisis realizado mostró que la mayoría de las lagunas presentaron bajos valores en las distintas variables cuantitativas analizadas. Esto puede deberse, entre otras cosas, a las características de la distribución de las lagunas. Mientras más aisladas se encuentren las lagunas entre sí, menor es 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 las lomadas ronda entre los 15 y 30 km, mientras que en Berón de Astrada y Capital (Corrientes, Argentina) 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. Sin embargo el departamento Ituzaingó no cuadra dentro de esta generalidad, ya que, por ejemplo, posee un gran número de lagunas de formas complejas, pero sin embargo el conjunto de lomadas arenosas que allí se ubican no alcanzan los 5 km de ancho.

Como se ha demostrado en el Capítulo 2, la topografía juega un papel fundamental en la interconexión de las lagunas, 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 59 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, evidenciando 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 lagunas Irregulares Complejas, de mayor tamaño que las circulares, poseen una distribución cual si fueran lagunas interdunas, ocupando depresiones centrales generadas por la erosión hídrica. Bajo esta idea consideramos oportuno mencionar que posiblemente las lagunas circulares que las rodean, hayan formado parte de estas lagunas más grandes.

Figura 59

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

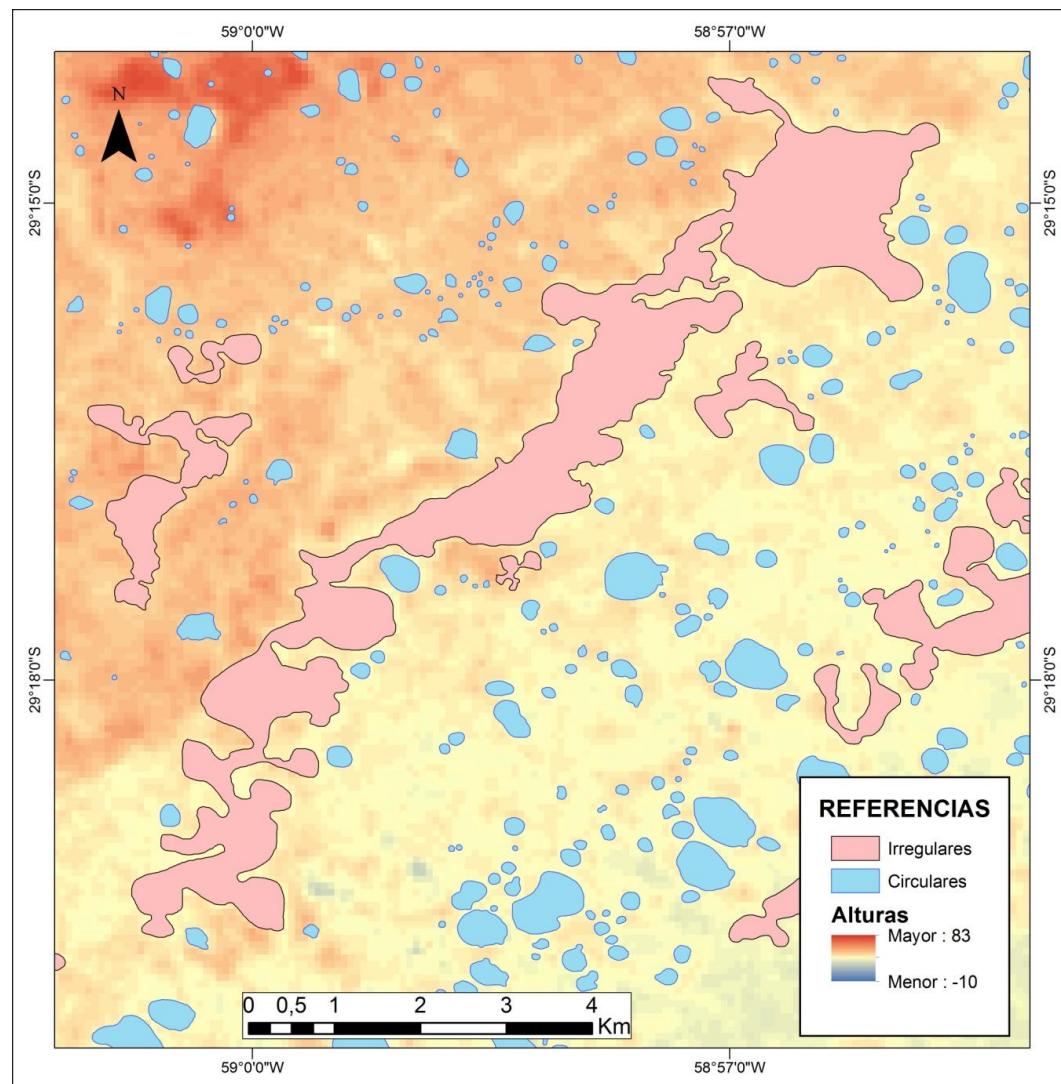


Fuente: Elaboración personal

Por otra parte, estas lagunas de formas complejas serían, en esencia, las lagunas alargadas paralelas que se encuentran sobre la planicie circundante a las lomadas arenosas, descriptas en el Capítulo 2. En otras palabras, una lomada arenosa muy ancha, como en el caso de Goya, va a permitir un relieve más heterogéneo que una lomada más angosta. Un ejemplo de ello es la figura 60 que muestra una laguna Irregular compleja (D_L : 4,55), la cual se ubica sobre un desnivel similar a los encontrados entre las lomadas y los esteros circundantes.

Figura 60

Incidencia de la topografía sobre la morfología de una laguna irregular (Goya, Corrientes)

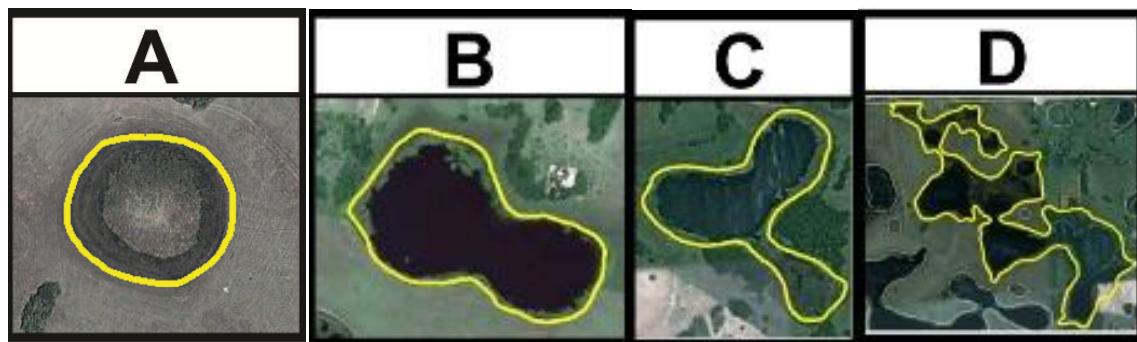


Fuente: Elaboración personal

La clasificación de las lagunas de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina) según su valor de D_L , presentó ciertas dificultades para el establecimiento de los límites de cada categoría, ya que las lagunas no presentaban formas claramente definidas sino que, por el contrario, presentaron diversas formas de transición entre las principales formas propuestas por Timms (1992). En este sentido, una laguna con un valor de $1,2 D_L$, que se encuentra dentro de las formas subcirculares, presenta formas relativamente similares a otra con valores de $1.59 D_L$, cuya forma es triangular (Figura 61 B y C).

Figura 61

Tipos de laguna según los valores D_L observadas en las lomadas arenosas de Corrientes (Argentina)



Valores de D_L : A. 1,01; B. 1,20; C. 1,59 y D. 2,9.

Fuente: Imágenes de Google Earth

La diferencia entre ambos valores depende de cuán ancha es la unión entre las lagunas, en relación con el perímetro. En otras palabras, cuanto más ancha es la unión, los valores de D_L se aproximan más a los valores de lagunas subcirculares, ya que aumenta la superficie, mientras que, cuanto menor es el ancho de la unión, disminuye a la superficie y aumenta el valor de D_L . Estas observaciones están sustentadas por la mayor correlación observada entre el perímetro y D_L en comparación con la superficie y D_L . Por lo tanto, una laguna puede poseer una forma determinada independientemente de su superficie.

Considerando las etapas de evolución de las lagunas propuesta en Contreras (2011) en comparación con los valores del D_L , se puede inferir que, cuanto mayor es el valor del D_L , más “avanzado” es el estado de evolución en el que se encuentra la laguna. Del mismo modo, si se las compara con la clasificación de Timms (1992), las formas circulares 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 resultar de la conexión entre lagunas en distintas etapas de evolución (Figura 61 D).

Sin embargo, es importante destacar que lo anterior no es el resultado de un proceso continuo unidireccional. De acuerdo con el modelo de evolución propuesto en Contreras (2011), según el cual las lagunas surgen como cubetas circulares que se conectan a otras en función de la pendiente por medio de zanjas de erosión, las que al ser ensanchadas por la erosión de costa producida por el oleaje generan lagunas más grandes; los valores morfométricos pueden variar considerablemente. Por ejemplo, una vez conectada la laguna, cuando comienza a ensancharse la zanja de erosión; su superficie aumenta y en consecuencia el valor de D_L disminuye, como así también la forma de la laguna varía, ya que puede pasar de una forma triangular, a una subcircular o inclusive de una irregular a una triangular. Por lo tanto, la evolución morfométrica de una laguna no siempre parte de una laguna circular hacia una compleja o de menor a mayor valor de D_L . Por el contrario, esta situación puede ser revertida, para luego volver a manifestarse. Estos procesos serían “ciclos” en la dinámica geomorfológica propia de las lagunas de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes.

A partir de la observación de imágenes satelitales, la mayoría de las lagunas de las lomadas arenosas que nos ocupan se pueden clasificar como pequeñas lagunas circulares. Los bajos valores del D_L encontrados en esta Tesis 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 cabe destacar que las mismas representan un 20% de densidad lacustre.

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, ya que si bien en origen serían cubetas circulares, que con el tiempo se pueden conectar con otras lagunas adquiriendo formas 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 (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 .

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 ya mencionados, y que serán desarrollados más adelante. En este sentido, las etapas de evolución pueden  actuando en forma inversa y la forma circular sería, en este caso, la forma final y no la original.

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

4.2. Lagunas Circulares

Con un total de 27.996 cubetas, las lagunas circulares representan un 72% de las formas de la región, lo cual es la forma más representativa y de menor tamaño según sus valores medios: $402,42 \text{ m} \pm 297,22$ (perímetro), $17.721 \text{ m}^2 \pm 37.910,4$ (superficie) y $1,04 \pm 0,04$ (D_L) como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Estadísticas descriptivas de las lagunas circulares (Corrientes, Argentina)

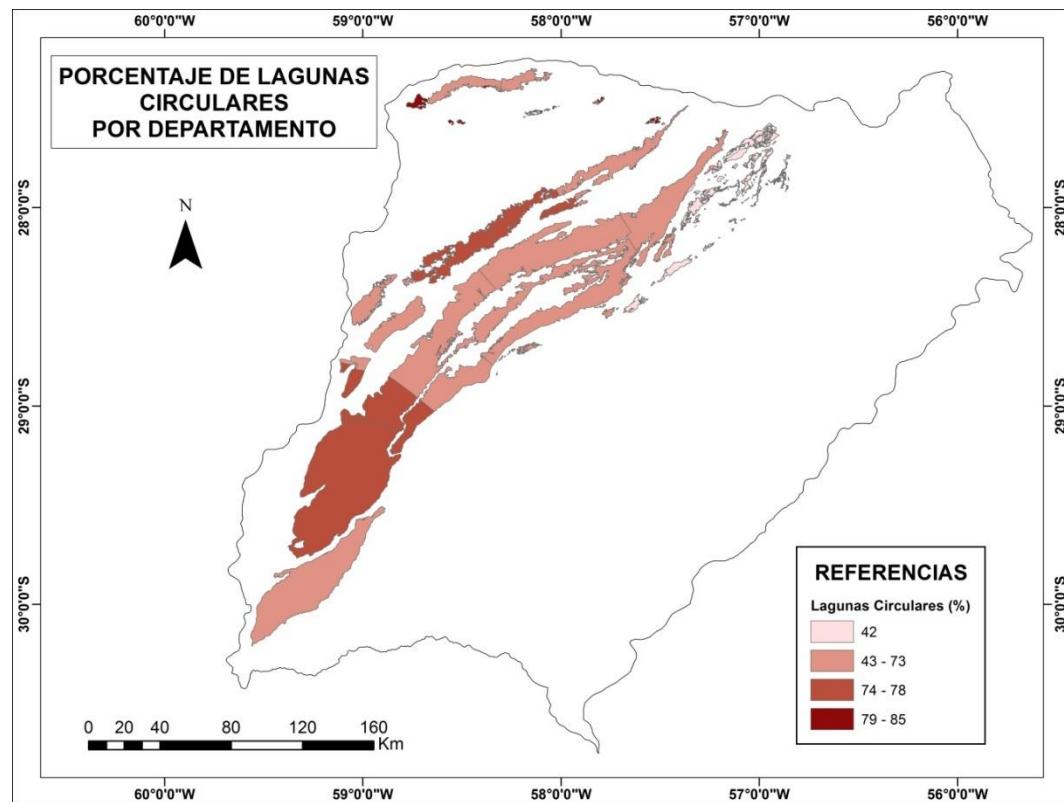
Variable	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Perímetro	402,42	297,22	37,66	5315,51	312,36	2,8	15,63
Superficie	17.721,01	37.910,40	90,07	1.905.782	7.142,08	13,26	384,58
D_L	1,04	0,04	1	1,14	1,03	1,11	0,23

Fuente: Elaboración personal en base a datos de los Anexos 17 - 32

La figura 62 muestra el mapa de los porcentajes de lagunas circulares por departamento. En ella se observa como los mayores valores se encuentran principalmente en las porciones más distales de las lomadas arenosas o bien en lomadas muy reducidas en tamaño como son el caso de los departamentos de San Luis del Palmar y Berón de Astrada debido a la imposibilidad de desarrollar grandes lagunas, por los reducidos espacios que ofrece la lomada. Como ya se ha destacado, la presencia de cubetas circulares, independientemente de los procesos de redondeamiento previas a

extinguirse, está dada principalmente por su ubicación en los relieves más planos y abiertos como se pudo observar en la figura 62.

Figura 62
Porcentaje de lagunas circulares por departamentos. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal base a datos de los Anexos 17 - 32

4.3. Lagunas Subcirculares

Las lagunas subcirculares o de formas alargadas, por lo general se encuentran asociadas a la unión de dos cubetas cuya conexión suelen ser del mismo ancho que las lagunas interviniéntes. A su vez, las cubetas conectadas deben poseer dimensiones similares, ya que de lo contrario, si la conexión o alguna de las cubetas son de menor  año, inmediatamente la laguna adoptará una forma triangular. Es por este motivo que en entre períodos húmedos y secos, la cantidad de formas, tanto subcirculares como triangulares, pueden predominar en un determinado lugar y tiempo. Con un total de 5.494 cubetas, representan el 14% de las formas de la región y los valores medios son $809,47 \text{ m} \pm 616,87$ (perímetro), $55.411,57 \text{ m}^2 \pm 149.943,75$ (superficie) y $1,21 \pm 0,04 (\text{D}_L)$ como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7. Estadísticas descriptivas de las lagunas subcirculares. (Corrientes, Argentina)

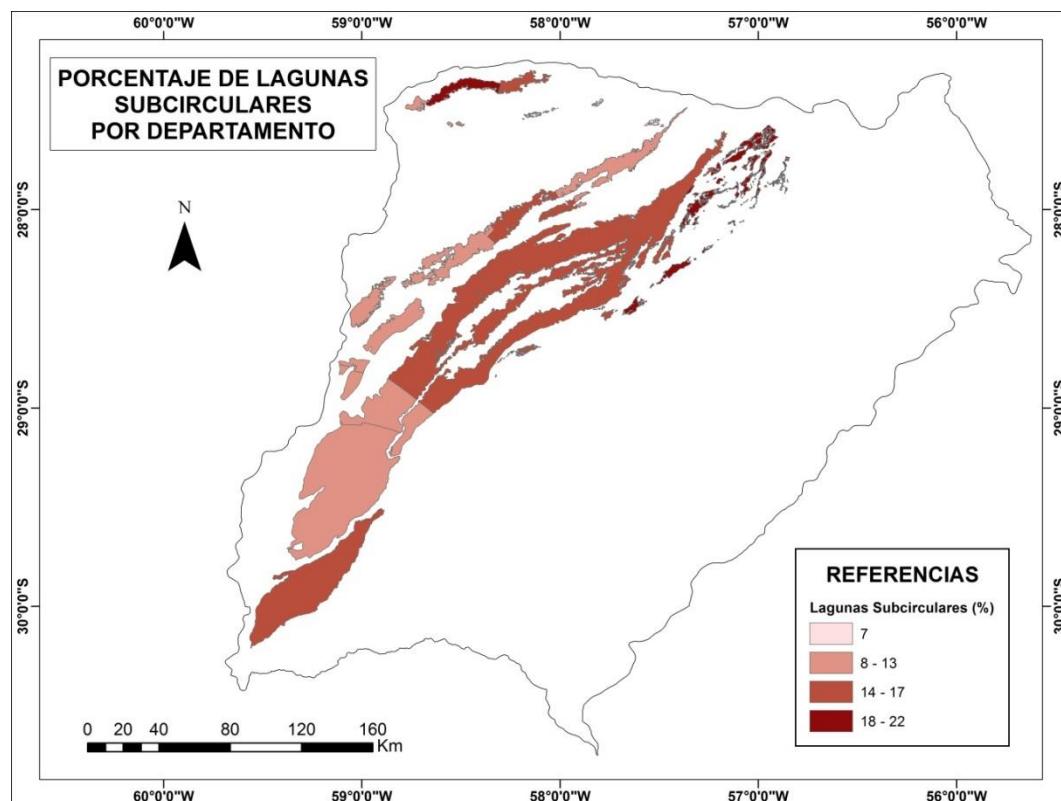
Variable	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Perímetro	809,47	616,87	44,50	12565,56	641,56	3,54	33,60
Superficie	55.411,57	149.943,75	98,88	7.586.728,87	22.364,17	26,43	1.198,88
D _L	1,21	0,04	1,15	1,29	1,20	0,30	-1,10

Fuente: Elaboración personal base a datos de los Anexos 17 - 32

La figura 63 muestra el mapa con los porcentajes de lagunas subcirculares por departamento. En ella se observa que existen mayores valores hacia el vértice del abanico y en los sectores centrales de las lomadas. Al ser la segunda forma más representativa, no supera el 22% (Ituzaingó) de las formas.

Figura 63.

Porcentaje de lagunas subcirculares por departamentos. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal base a datos de los Anexos 17 - 32

4.4. Lagunas Triangulares

Existe un total de 4.994 lagunas triangulares y representan el 13% de las formas de las cubetas de la región (Figura 64). Para que se desarrolle esta forma, tiene que darse principalmente tres situaciones: 1- La unión de tres lagunas en disposición triangular, 2- la unión de dos lagunas circulares, de las cuales una es de menor superficie y 3- al grado de conexión entre dos lagunas de un mismo tamaño. Como se ha destacado para las lagunas subcirculares, una conexión menor entre dos lagunas permitirá un mayor desarrollo del perímetro y en consecuencia un aumento del D_L , mientras que por el contrario, al ampliarse la misma, habrá mayor desarrollo de la superficie, disminuyendo los valores de D_L , convirtiéndola en laguna subcircular.

La importancia de estas lagunas, es que las formas triangulares y las demás formas complejas, son indicadores de procesos de anegamientos o áreas potencialmente anegables. De allí que en períodos secos disminuyen las lagunas con esta forma aumentando las subcirculares y viceversa.

Cuando se hace referencia de “cambios de formas” entre ciclos húmedos y secos, no se hace mención a un cambio de la cubeta, sino más bien a las porciones limnéticas de cada laguna e incluso a las interconexiones entre ellas.

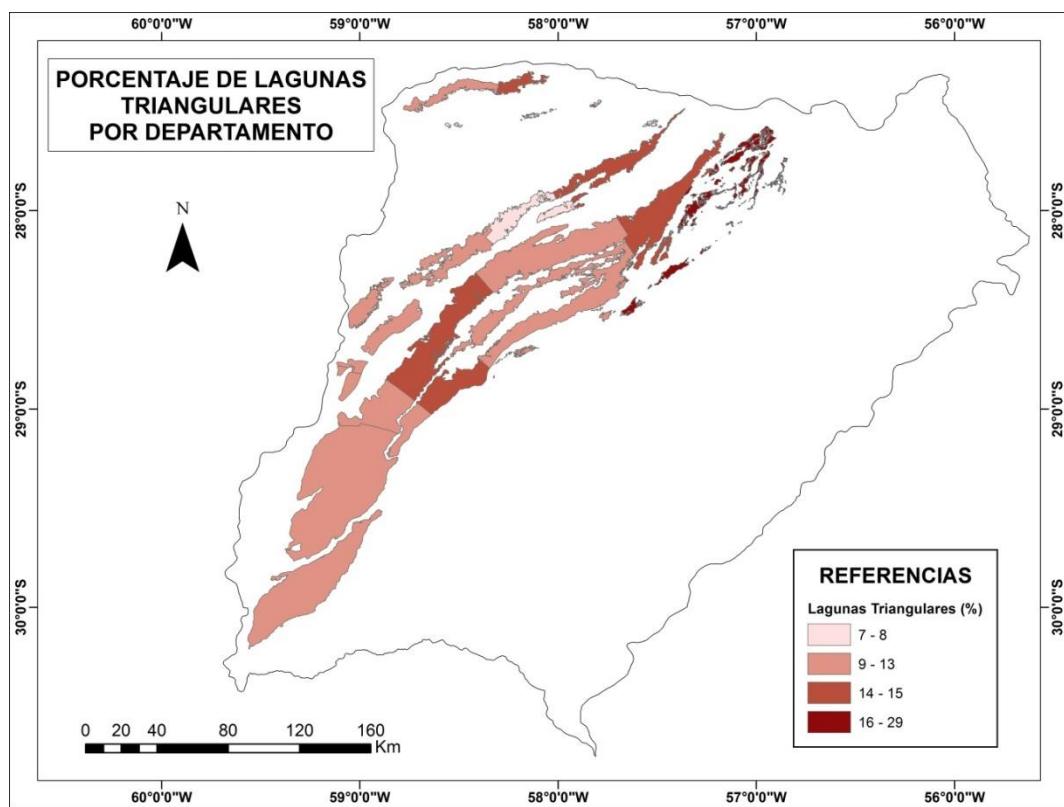
Los valores medios son 1.713,33 m \pm 1.463,51 (perímetro), 157.451,97 m² \pm 338.078,43 (superficie) y 1,49 \pm 0,17 (D_L) como lo muestra la tabla 8. En la figura 66 se observa como aumentan los porcentajes de lagunas triangulares cuanto más cerca del vértice del abanico nos encontremos.

Tabla 8. Estadísticas descriptivas de las lagunas triangulares. (Corrientes, Argentina)

Variable	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Perímetro	1.713,33	1.463,51	115,51	17.320,49	1.295,48	2,82	13,68
Superficie	157.451,97	338.078,43	356,71	9.119.841,04	62.354,60	9,56	161,76
D_L	1,49	0,17	1,3	1,99	1,44	1,01	0,20

Fuente: Elaboración personal en base a datos de los Anexos 17 - 32

Figura 64
Porcentaje de lagunas triangulares por departamentos. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal base a datos de los Anexos 17 - 32

4.5. Lagunas de Formas Complejas

Para los tres casos *Irregulares Simples*, *Dendríticas* e *Irregulares Complejas*, el número total de estas lagunas es sumamente insignificante y en algunos casos no llegan a representar ni el 1% del total de lagunas de la región. Sin embargo el tamaño de las mismas aumenta significativamente, encontrándose las más grandes sobre el paisaje de lomadas. La forma está condicionada por dos factores principalmente: debido a un control topográfico como ya se ha destacado o bien debido a la conexión de un gran número de lagunas que en muchos casos surgen diversas dificultades a la hora de establecer los límites de la cubeta.

Estas formas responden rápidamente a los ciclos húmedos y secos. En períodos secos y al bajar el nivel del agua es posible observar la cantidad de cubetas que conforman a una gran laguna. También se podría decir que estas lagunas conectan a varias cubetas a través de grandes espacios anegadizos y no de manera encauzada como podría ser el caso de lagunas triangulares. De allí, que en períodos húmedos estas

lagunas parecieran ser una única cubeta y no un conjunto de cubetas menores. En momentos de transición, estos sectores conectores se asemejan más a paisajes de bañados o cañadas que al de una laguna propiamente dicha.

Por el momento no se han detectados diferencias significativas en este grupo de formas, más que el tamaño y el aumento del D_L , ya que si bien la cantidad de cubetas que contienen en su interior podría ser otra variable a tener en cuenta, no se pudo establecer un límite o asociar una cantidad determinada a cualquiera de las formas complejas. Esto se debe, por ejemplo, a que una laguna *Irregular Simple* puede tener un mayor número de pequeñas cubetas interconectadas, pero una superficie de interconexión reducida en términos relativos; mientras que una laguna *Irregular Compleja* puede tener un menor número de lagunas, pero dicha conexión abarca grandes extensiones de la lomada que la contiene. De allí que una sola presencia de una laguna de este tipo puede incrementar los valores de densidad lacustre en un determinado sector.

4.5.1. Lagunas Irregulares Simples

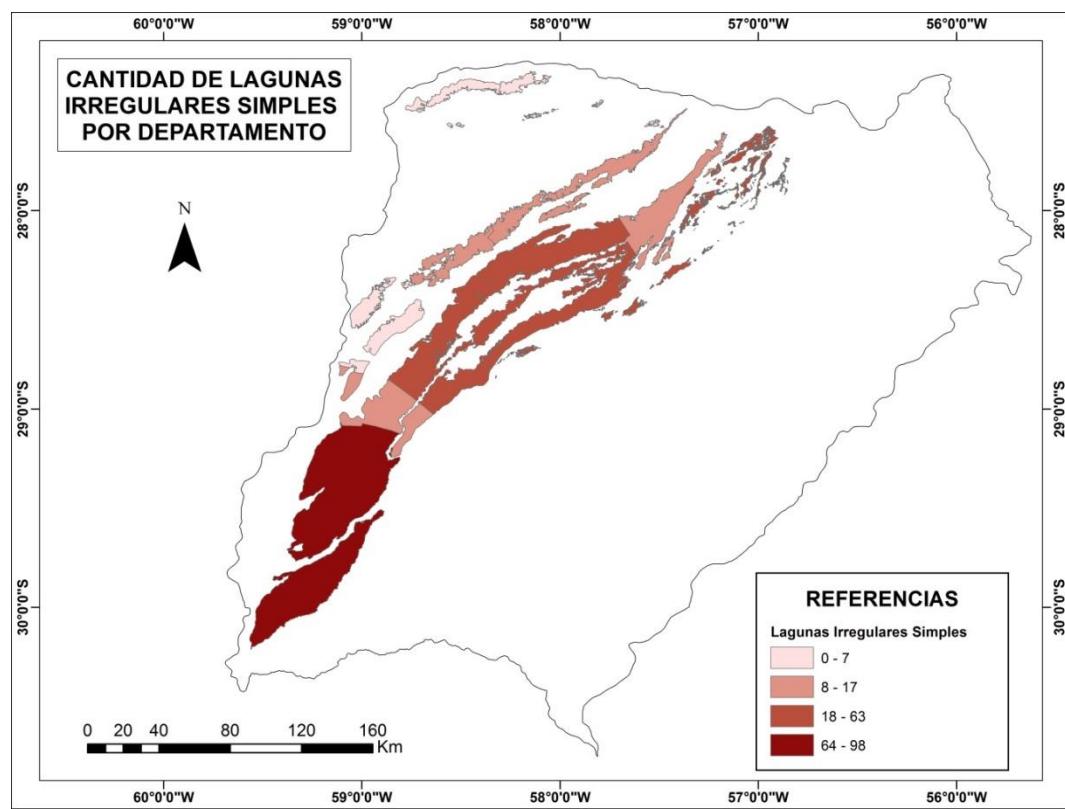
Existe un total de 451 lagunas Irregulares Simples, siendo el mayor número existente dentro de las formas complejas (Figura 65). Los valores medios son 7.064,23 m \pm 5.409,17 (perímetro), 1.068.881,71 m² \pm 1.911.469,59 (superficie) y 2,30 \pm 0,26 (D_L) como lo muestra la tabla 9. En la figura 65 se observa como aumentan los porcentajes hacia el sur, principalmente al SO. Esta situación puede estar asociada a dos situaciones: 1- A que los departamentos de la lomada San Miguel – Goya presentan mayores signos de erosión hídrica y relieve más irregular en los departamentos del NE y Centro, 2- al desarrollo de lomadas más anchas y más planas al SO, generando grandes áreas anegadizas.

Tabla 9. Estadísticas descriptivas de las lagunas irregulares simples. (Corrientes, Argentina)

Variable	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Perímetro	7.064,23	5.409,17	355,32	44.243,58	5.527,50	2,49	9,53
Superficie	1.068.881,71	1.911.469,59	2.196,33	19.364.175,70	473.910,75	4,95	31,76
D_L	2,30	0,26	2	2,99	2,22	0,86	-0,30

Fuente: Elaboración personal en base a datos de los Anexos 17 - 32

Figura 65
Cantidad de lagunas irregulares simples por departamentos. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal base a datos de los Anexos 17 - 32

4.5.2. Lagunas Dendríticas

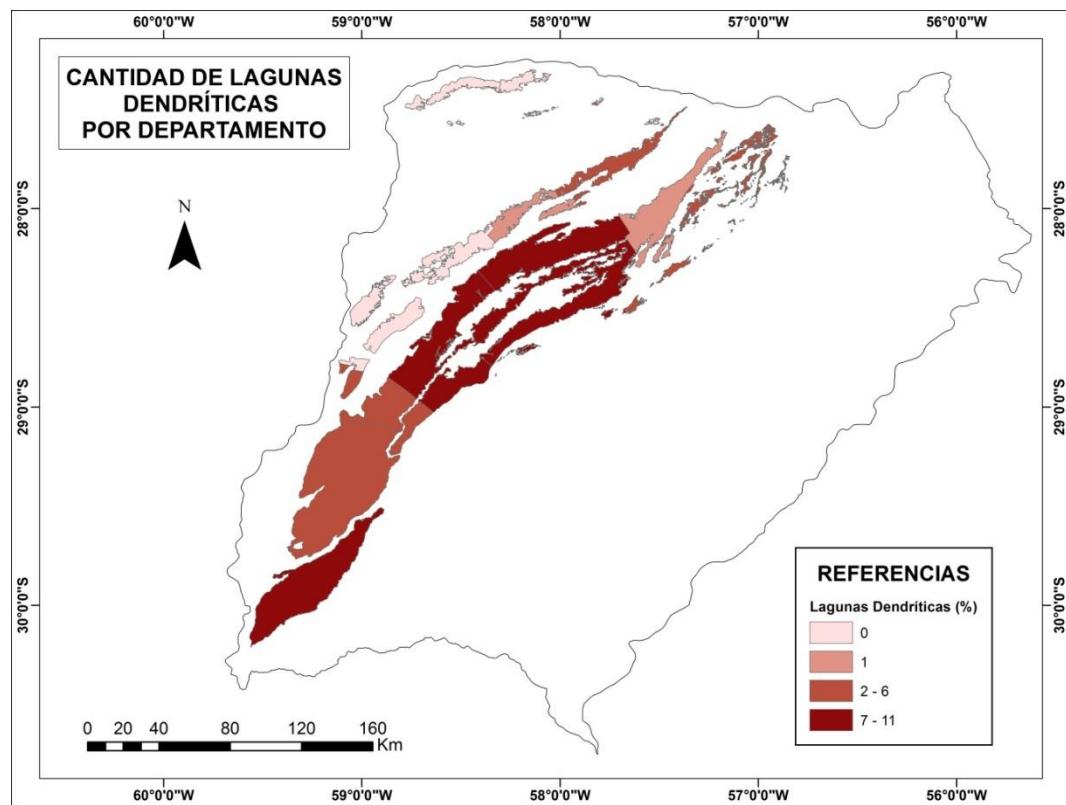
Se han detectado un total de 49 lagunas (Figura 66). Los valores medios son $19.545,88 \text{ m} \pm 12.252,63$ (perímetro), $3921614,56 \text{ m}^2 \pm 5.262.081,09$ (superficie) y $2,30 \pm 0,22$ (D_L) como lo muestra la tabla 10. En la figura 68 se observa que la mayor presencia de este tipo de lagunas se encuentra en la porción central de la lomada San Miguel - Goya.

Tabla 10. Estadísticas descriptivas de las lagunas dendríticas. (Corrientes, Argentina)

Variable	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Perímetro	19.545,88	12.252,63	4.472,07	59.002,03	16.610,87	1,16	0,98
Superficie	3.921.614,6	5.262.081,1	138.705,4	29.075.721,7	2.255.312,5	2,86	9,31
D_L	3,29	0,22	3	3,80	3,25	0,71	-0,28

Fuente: Elaboración personal en base a datos de los Anexos 17 - 32

Figura 66
Cantidad de lagunas dendríticas por departamentos. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal base a datos de los Anexos 17 - 32

4.5.3. Lagunas Irregulares Complejas

Solo se han registrado 12 lagunas, siendo las formas más raras de la región. Basado en lo observado hasta el momento, se puede inferir que las formas complejas serían insignificantes en cuanto a cantidad, pero sin embargo su presencia, a la hora de establecer descripciones paisajísticas, cobra un valor más que significativo porque son las lagunas de mayor tamaño, incrementando la densidad lacustre de manera marcada. Sin embargo la laguna más grande posee una superficie 687.568 veces más grande que la más pequeña de la región y la sumatoria de superficie que ocupan estas doce lagunas constituyen el 26% de superficie total de lagunas circulares y un 43% de las subcirculares. Los valores medios son $46.649.41 \text{ m} \pm 28.357,36$ (Perímetro), $10.783.278,33 \text{ m}^2 \pm 16.573.867,11$ (Superficie) y $2,30 \pm 0,45$ (D_L) como lo muestra la tabla 11. En la figura 67 se observa que la mayor presencia de este tipo de lagunas se encuentra en la porción extremas de la lomada San Miguel - Goya.

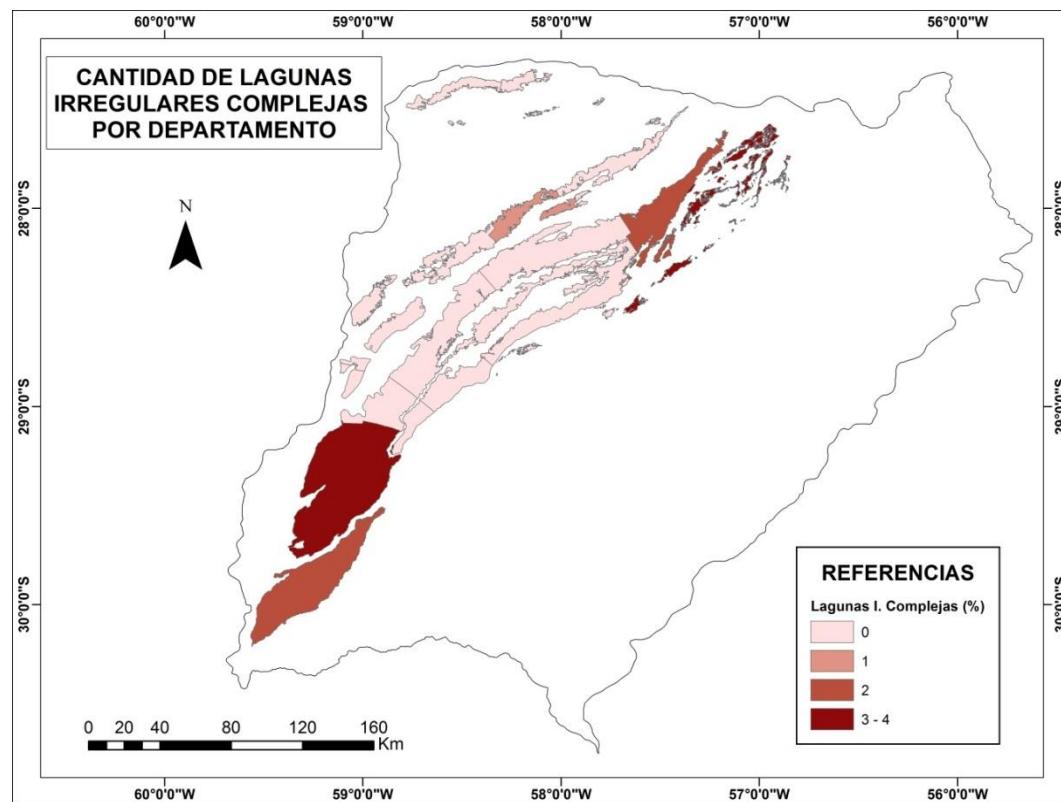
Tabla 11. Estadísticas descriptivas de las lagunas irregulares complejas. (Corrientes, Argentina)

Variable	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Perímetro	46.649,41	28.357,36	19.364,72	124.559,76	37.983,33	2,08	2,84
Superficie	10.783.278,3	16.573.867,1	1.447.982,2	61.929.211,1	4.850.442,62	3,14	6,02
DL	4,67	0,45	4,20	5,73	4,55	1,25	0,45

Fuente: Elaboración personal en base a datos de los Anexos 17 - 32

Figura 67

Cantidad de lagunas irregulares complejas por departamentos. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a datos de los Anexos 17 - 32

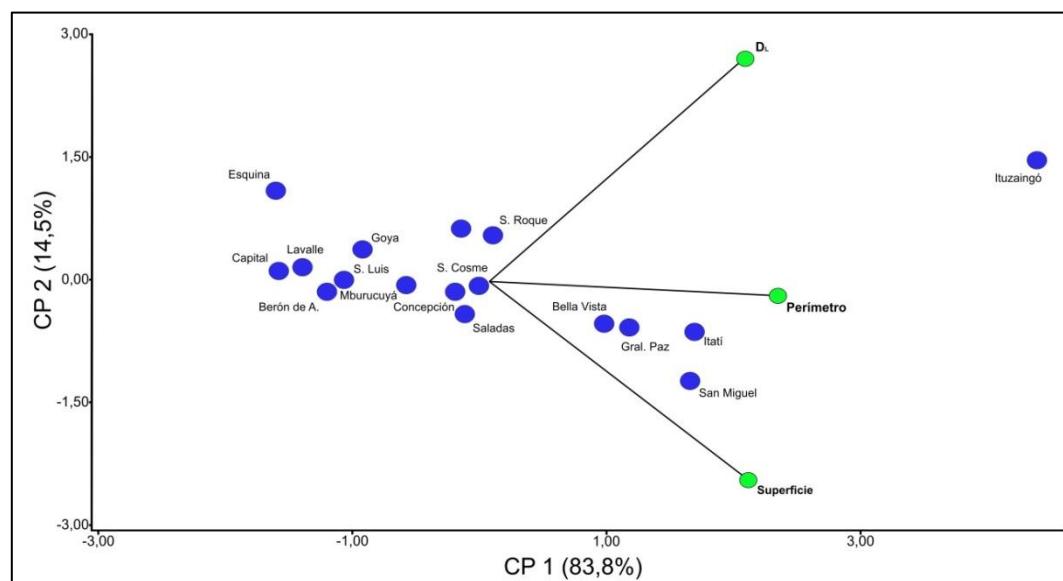
Los resultados del ordenamiento PCA se representan en un diagrama de dispersión (Figura 68). Los símbolos representan los departamentos y los vectores las características morfométricas de las lagunas. La dirección del vector en el diagrama indica la dirección de la mayor variación de la variable que 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 euclídea entre los departamentos en el diagrama de dispersión y la distancia en el espacio multidimensional original.

En la figura 69 se observa como los departamentos se agrupan de Este a Oeste en función de los resultados del PCA.

Figura 68

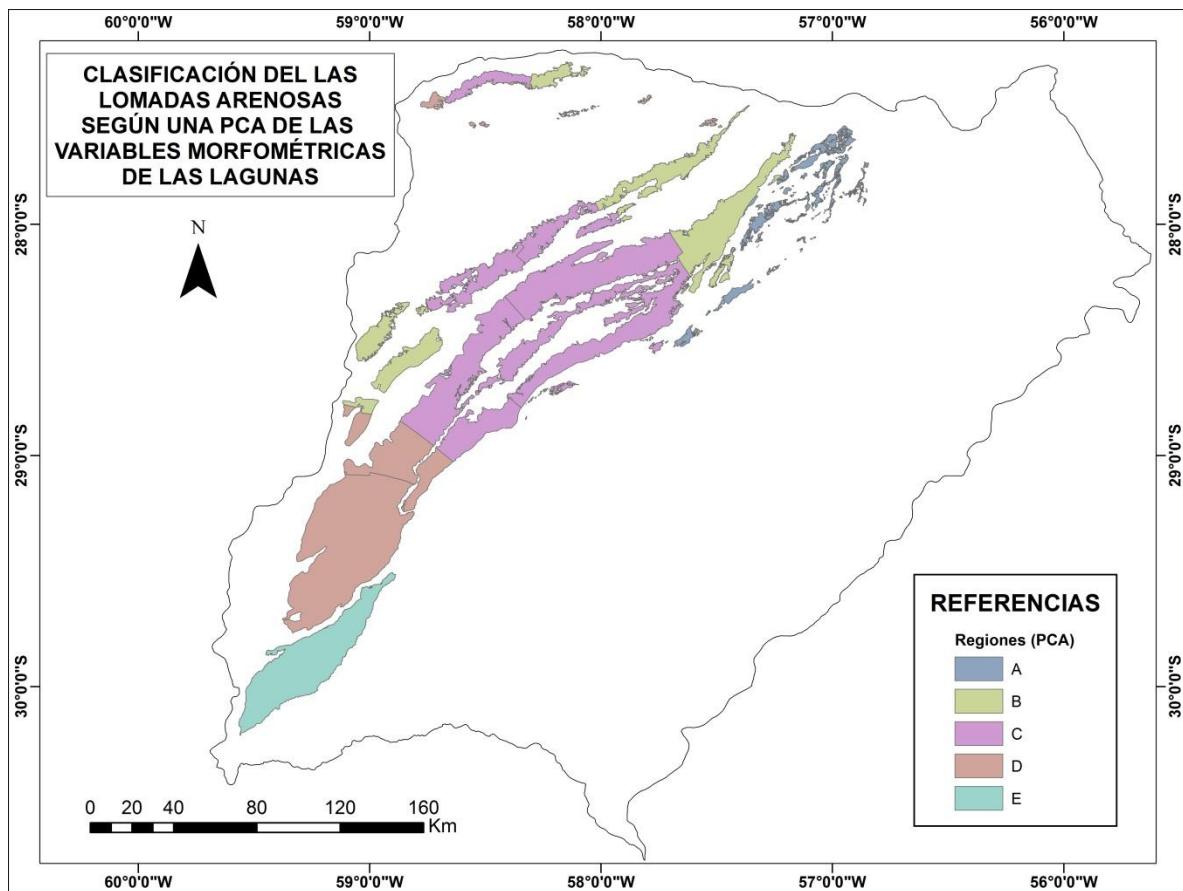
PCA de las variables morfométricas de las lagunas de lomadas arenosas por departamentos (Provincia de Corrientes)



Fuente: Elaboración personal en base a datos del Anexo 33

Figura 69

Regiones de las lomadas arenosas a partir del PCA de las variables morfométricas de las lagunas. (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal base a datos de la figura 68

En base a los resultados del PCA y en las cartografías de formas por departamento, se puede inferir que los grupos resultantes se encuentran vinculados a la mayor abundancia 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.

Sin embargo, este departamento es el topográficamente más bajo y no forma parte de una lomada arenosa principal, y si bien no existen dataciones de sus sedimentos, los

depósitos arenosos parecerían ser más recientes que la del resto y por lo tanto el paisaje, idéntico al de las lomadas y por lo tanto sería mucho más joven que el resto de la región. Es la explicación del porqué se observan grandes extensiones anegables o lagunas de límites poco definidos como se puede ver en la figura 70. Se podría estimar que el paisaje anegadizo que se observa en la actualidad, es el mismo que se observaba en la región en su estado inicial y que con el tiempo las cubetas comenzaron a delimitarse y segmentarse.

Figura 70
Paisaje de lomadas arenosas del departamento Esquina (Corrientes). Año 2013



Fuente: Google Earth. 29° 56' 40" S y 59° 28' 16" O

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. Como se ha destacado, la pendiente tiene un papel significativo en las etapas de evolución de las lagunas, principalmente en la interconexión y en los alineamientos. Es por ello que, como también se ha destacado, las alturas de las lomadas disminuyen desde el vértice hacia las áreas más distales y una mayor topografía resultará en un relieve con mayores pendientes y en consecuencia mayor interconexión entre lagunas, y a partir de allí, la posibilidad de encontrar mayores valores de D_L .

En otras palabras, los resultados de esta investigación demostraron mediante la utilización de MDE, que la topografía decrece de E – O y que el aumento de D_L , va de O – E, por lo tanto no es de extrañar que sobre el vértice del abanico existan pendientes más marcadas que sobre la base y en consecuencia existan más formas circulares sobre esta última que sobre el vértice. Esta situación validaría aún más la incidencia que posee la pendiente sobre la evolución del paisaje de lomadas arenosas.

4.6. Respuestas morfométricas a los ciclos húmedos y secos

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de un lago, responden rápidamente a los cambios relacionados con las variaciones climáticas (ACIA 2004; Rosenzweig 2007), ya que son muy visibles y se pueden medir con facilidad, como por ejemplo las fluctuaciones del nivel del agua (Adrian *et al.* 2009).

En nuestro caso, por tratarse de cuerpos de agua muy someros, las respuestas a los ciclos húmedos y secos pueden manifestarse como respuesta a fenómenos meteorológicos locales y variar considerablemente de un año al otro.

Para Adrian *et al.* (2009), los ecosistemas lacustres parecen ser centinelas válidos para el cambio climático actual, ya que proporcionan indicadores que permiten detectarlo, ya sea directamente o indirectamente. Los indicadores son variables de respuesta medibles, tales como la temperatura del agua, carbono orgánico disuelto o la composición del plancton. Sin embargo, los autores destacan que dada la variedad de morfologías, características de la cuenca y ubicaciones geográficas, se debe tener cautela de no hacer afirmaciones generales sobre la capacidad de los lagos de responder a las variaciones climáticas.

Los lagos son afectados por la intervención de múltiples factores (Christensen *et al.* 2006; Yan *et al.* 2008). Por ejemplo la temperatura de la superficie de estos cuerpos de agua, que por lo general es vinculada a la temperatura del aire, no siempre se evidencian sus efectos en forma directa (Adrian *et al.* 2009). En muchos lagos relativamente pequeños, las temperaturas del aire solo explican una parte relativamente pequeña de las variaciones observadas en la temperatura de la superficie (Coats *et al.* 1996; Keller 2007). Para Pham *et al.* (2008), el problema de estudiar las respuesta de los lagos a los ciclos climáticos aumenta cuando se consideran variables de respuesta química o biológica como ser el aporte de nutrientes, la depositación de azufre y óxidos de nitrógeno, etc.

Para Fernández Aláez *et al.* (2004), el funcionamiento de los lagos someros está controlado, además de la disponibilidad de nutrientes y el estado trófico, por la cantidad y

permanencia del agua que, al ser poco profundos, sus niveles fluctúan de forma natural, ya sea intra e interanualmente, dependiendo de las condiciones climáticas de la región y de las actividades humanas (Blindow 1992; Gafny y Gasith 1999; Beklioglu *et al.* 2001). Las fluctuaciones en el nivel del agua tienen un efecto decisivo sobre la estructura, funcionamiento y manejo de estos sistemas acuáticos, y afectan a sus valores de conservación (Fernández Aláez *et al.* 2004).

Es por ello que es conveniente combinar variables tanto morfométricas como las que describen las características físicas, químicas y biológicas del agua, comprendiendo, no solo las fluctuaciones de las variables, sino también el tiempo de respuesta y de recuperación a dichos cambios; pero para ello es imprescindible tener conocimiento de los estados normales propios de cada laguna, ya que, como se ha destacado, las características del agua de las mismas pueden variar considerablemente por más que se encuentren muy próximas entre sí.

En las instancias de investigación de esta investigación, se pudo comprobar que las lagunas del paisaje de lomadas arenosas poseen rápidas respuestas a los ciclos húmedos y secos de la región, detectándose, en muchos casos, cambios morfológicos y morfométricos sumamente significativos. De allí que en Contreras *et al.* (2014), se propone que la circularidad de las lagunas puede no estar relacionada al proceso que le dio origen, sino por el contrario, sería la respuesta de las mismas a los períodos secos.

En efecto, dicha situación podría incidir en los cambios morfológicos de manera similar a los procesos de redondeamiento observados por Paire y Drago (2006) en las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio, previas a extinguirse. A su vez, en Contreras *et al.* (2014) se concluyó que 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.

En este sentido, el Cociente de Elasticidad¹⁷ permite medir la amortiguación hídrica de agua de un cuerpo de agua que, como lo menciona Neiff (2003), es un descriptor sintético de la fluctuación del nivel del agua en períodos de sequía-inundación, incluyendo el control de inundaciones debido a la acción retardadora del escurrimiento superficial.

¹⁷ Es un cociente entre la superficie del cuerpo de agua durante el período húmedo y la superficie del mismo durante el período seco.



Este valor (o índice) es un componente de:

- Las características geomorfológicas del macrosistema
- La capacidad de almacenaje de agua en el suelo y subsuelo.
- La variabilidad meteorológica regional (lluvias/ET + infiltración).

La elasticidad del sistema permite explicar en gran medida la distribución y abundancia de las poblaciones, el almacenamiento y movilidad de los nutrientes, las condiciones de óxido-reducción, la prevalencia de fenómenos de acumulación o de degradación de la materia orgánica y -en general- informan sobre los flujos biogeoquímicos que se operan en los humedales (Tabla 12).

Tabla 12. Elasticidad de algunos grandes Humedales.

Sistema	Área (*)	Área (+)	C. de elasticidad
Chaco Oriental	42	3,4	12,35
Pantanal (Mato Grosso)	131	11	11,90
Paraná	38	5	7,6
Iberá	12	7,8	1,54

(*) Área máxima en $km^2 \times 103$ (+) Área mínima en $km^2 \times 103$

Fuente: Neiff, (2003).

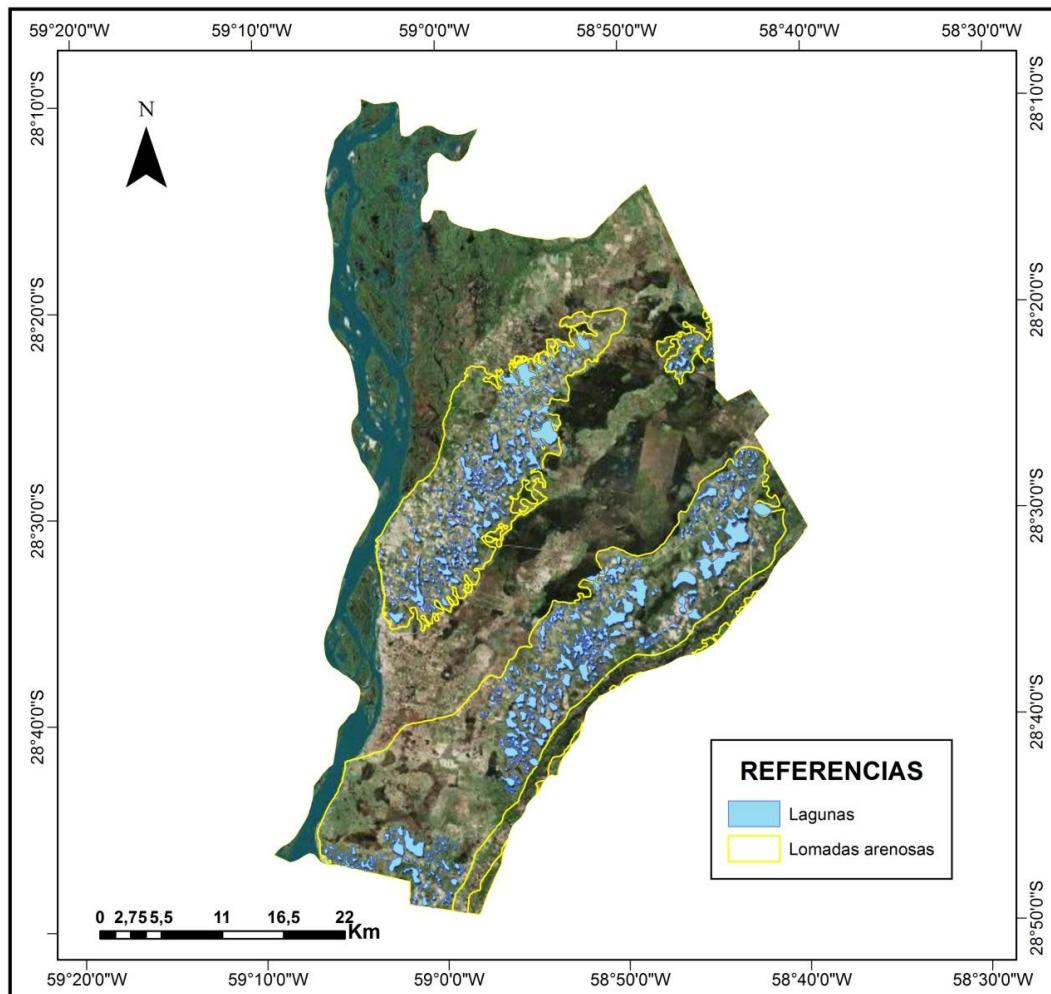
Sin embargo, en Contreras *et al.* (2014), se estableció que las lagunas de las lomadas arenosas pueden adquirir diversas formas sin importar el tamaño de las mismas. Con lo cual, para poder determinar cuáles son las respuestas morfométricas que poseen las lagunas de lomadas arenosas en cortos períodos de tiempo, fue necesario incorporar un mayor número de variables morfométricas que complementen al cociente de elasticidad. En este sentido, se propone obtener un cociente entre los valores promedios obtenidos de la Longitud máxima, el Ancho Máximo, el Perímetro y la Superficie de los años trabajados, denominándolo Índice de Cambio (IC).

La aplicación del IC, se llevó a cabo en el departamento Bella Vista, por la disponibilidad de imágenes de Alta definición, tanto en períodos húmedos como en secos, con el fin de establecer comparaciones morfométricas.

Las precipitaciones anuales de este departamento rondan en los 1.200 mm, distribuidos a lo largo del año, pero sus máximas se presentan en estaciones intermedias. Además, es posible apreciar ciclos húmedos y secos que duran, aproximadamente, entre 1 y 2 años.

Bella Vista posee dos lomadas arenosas separadas por una planicie anegable de grandes extensiones (Figura 71), que albergan 1.001 lagunas, de las cuales el 73% son circulares, 12% subcirculares, 13% triangulares y 2% irregulares. Para este cálculo se tuvo en cuenta la máxima ocupación de la cubeta, sin importar la presencia de agua sobre la misma al momento de digitalizar el cuerpo de agua.

Figura 71
Distribución de lagunas del departamento Bella Vista (Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal

Según datos del INTA, en Bella Vista precipitaron 900 mm en el año 2011 y 400 mm hasta el día 15/05/2012, fecha de captura de la imagen de Google Earth. Ese déficit de 300 mm respecto del promedio anual fue suficiente para que las lagunas comenzaran a extinguirse, ya que durante los años 2009 y 2010 se registraron precipitaciones anuales superiores a los 1300 mm. Sin embargo desde el día 15/05/2012 al 27/10/2013, fecha de

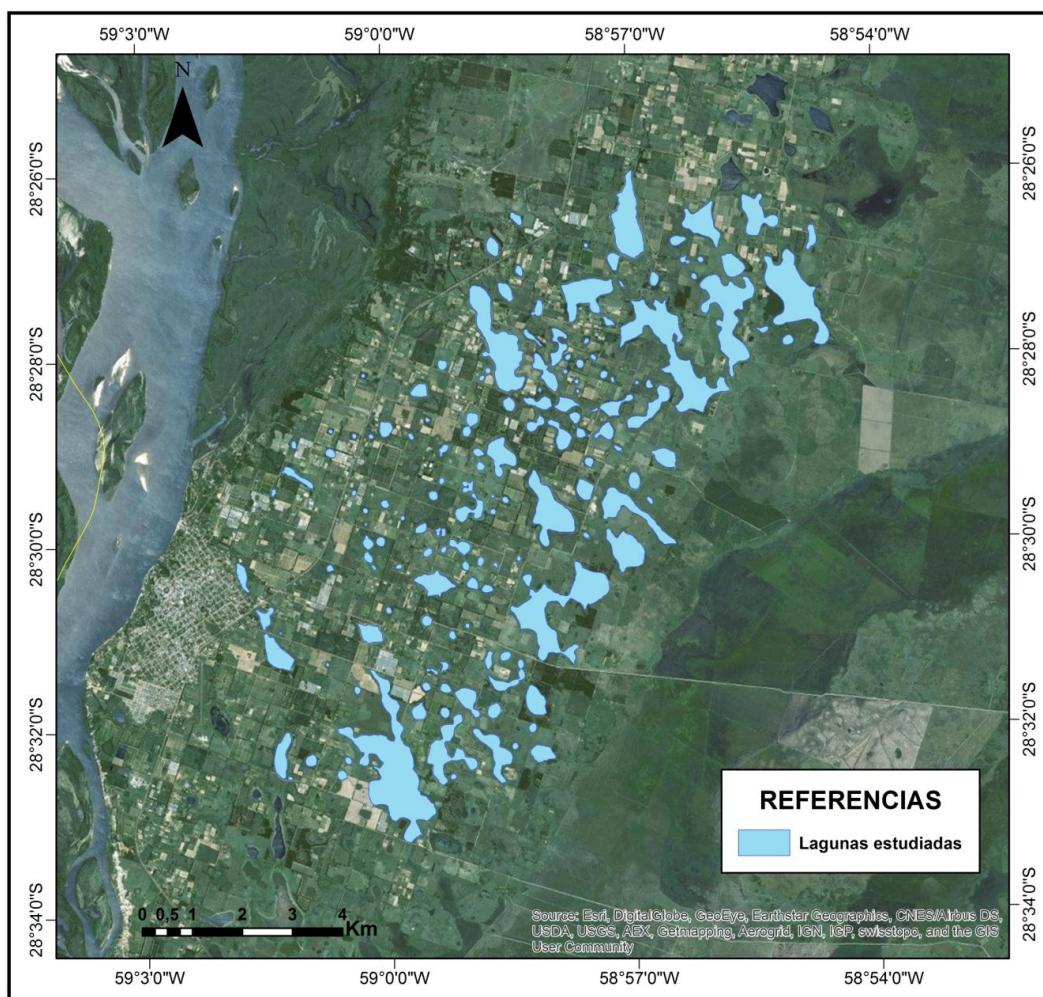
captura de la imagen de Google Earth correspondiente al período húmedo, la precipitaciones superaron los 1.400 mm.



Es por tal motivo que en base a la imagen del año 2012 se han digitalizado 117 lagunas, mientras que para el año 2013 un total de 153 para el año 2013 como se observa en la Figura 72. Esta diferencia de 36 lagunas se debe a que en este último año han reaparecido cuerpos de agua, luego de precipitar 1400 mm desde el momento de la captura de la imagen correspondiente al 2012 hasta el momento de la captura de la imagen 2013. En este sentido, es preciso resaltar que entre ambas fechas precipitaron 200 mm más que el promedio anual.

Figura 72

Distribución de lagunas del área de estudio (Bella Vista, Corrientes, Argentina)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

La tabla 13 muestra una comparación entre las formas obtenidas del cálculo del D_L para ambos años. Los respectivos porcentajes permiten demostrar cómo las lagunas van modificando su morfología de formas circulares a más complejas.

La significativa disminución relativa de las lagunas circulares, con un leve aumento de las demás formas son los comportamientos propios de estos cuerpos de agua de áreas planas, ya que las formas triangulares e irregulares son formas que se encuentran asociadas a procesos de inundación/anegamiento.

Tabla 13. Comparación de formas de lagunas en años húmedos y secos. Bella Vista (Corrientes, Argentina). Años 2012 y 2013

Formas	2012		2013	
	(N)	(%)	(N)	(%)
Circulares	101	71	102	65
Subcirculares	14	10	18	12
Triangulares	24	17	30	19
Irregulares	3	2	7	4

Fuente: Elaboración personal

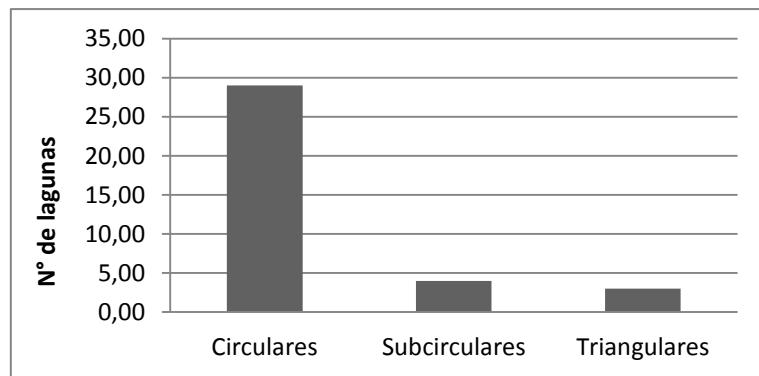
Sin embargo, pese a disminuir los valores relativos de las lagunas circulares, los valores absolutos aumentaron, situación que se explica mediante la clasificación de las formas de reaparición de las 36 lagunas.

Comparando las imágenes de los años 2012 y 2013, se ha detectado la reaparición de 36 lagunas, un valor muy significativo, considerando que representa el 24% de las lagunas estudiadas. Es decir 1 de cada 4 lagunas se seca por completo en años secos. Esto permite dar cuenta de la limitada capacidad de retención de agua que poseen las mismas y a su vez explicar porqué en períodos húmedos o luego de lluvias intensas, grandes extensiones de tierra que se encuentran próximas a las lagunas se convierten en espacios anegadizos.

Por otra parte, de esas 36 lagunas (Figura 73), el 81% de las lagunas reaparece con forma circular, el 11% como subcircular y el restante 8% como triangular. Esto permite demostrar que las formas redondeadas son las adoptadas por las lagunas, no solo en los instantes previos a extinguirse como se destacó en Contreras *et al.* (2014) y Paire y Drago (2006), sino que también al resurgir luego de abundantes lluvias, posiblemente como consecuencia de la morfología de la cubeta al momento de extinguirse.

Figura 73

Formas de reaparición adoptadas por las lagunas de Bella Vista (Corrientes, Argentina). Año 2013

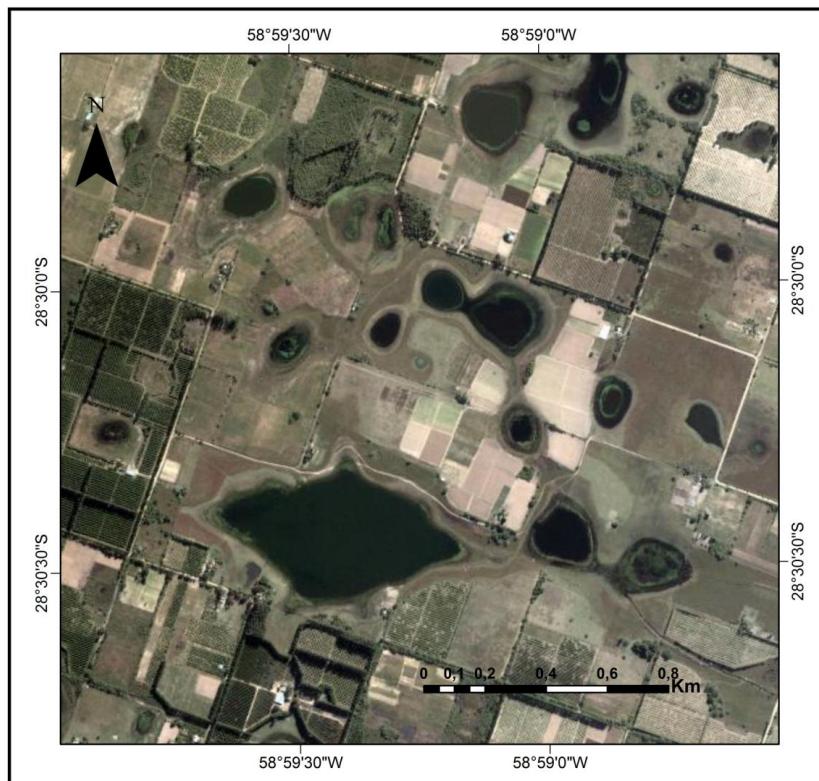


Fuente: Elaboración personal

Estos procesos de expansión y contracción circulares con el tiempo modelan la cubeta de tal forma, que enmascaran sus morfologías originales. Un ejemplo de ello es la figura 74 donde se observa como un gran número de lagunas que se encontraban encadenadas, en la actualidad se van segmentando/aislando.

Figura 74

Distribución de lagunas encadenadas del departamento Bella Vista (Corrientes, Argentina). Año 2007



Fuente: Elaboración personal

Para Durán Valsero *et al.* (2009) en relación con la evolución de los humedales continentales, se puede establecer que, en general, estos tienden a colmatarse con un ritmo que depende más de la actividad funcional actual, que del proceso pasado asociado a su formación. Cualquier modificación en la cuenca de alimentación o del acuífero, del que depende el humedal, interfiere con el proceso que le dio origen y modifica su evolución natural.

La escasa profundidad que presentan las lagunas las vuelve más vulnerables durante los períodos extremadamente secos (Fornerón *et al.* 2010). 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).

Para Montoya Moreno *et al.* (2011), el reducido tamaño de las lagunas no implica que las interacciones ecológicas sean de poca importancia, ya que los sistemas someros tienden a ser más dinámicos, y sus pequeñas oscilaciones del nivel de agua representan diferencias grandes de superficie.

“Los sistemas someros son considerados entre los de mayor productividad biológica, no obstante, las fluctuaciones asociadas al pulso de inundación desecación (cambio de nivel del agua) generan variación en las condiciones morfométricas, las cuales, a su vez, implican una reacomodación de los organismos acuáticos debido a la variación de la transparencia, cambios en la capacidad de dilución e intercambio de materiales y aislamiento hidráulico”. (Montoya Moreno *et al.* 2011: 213)

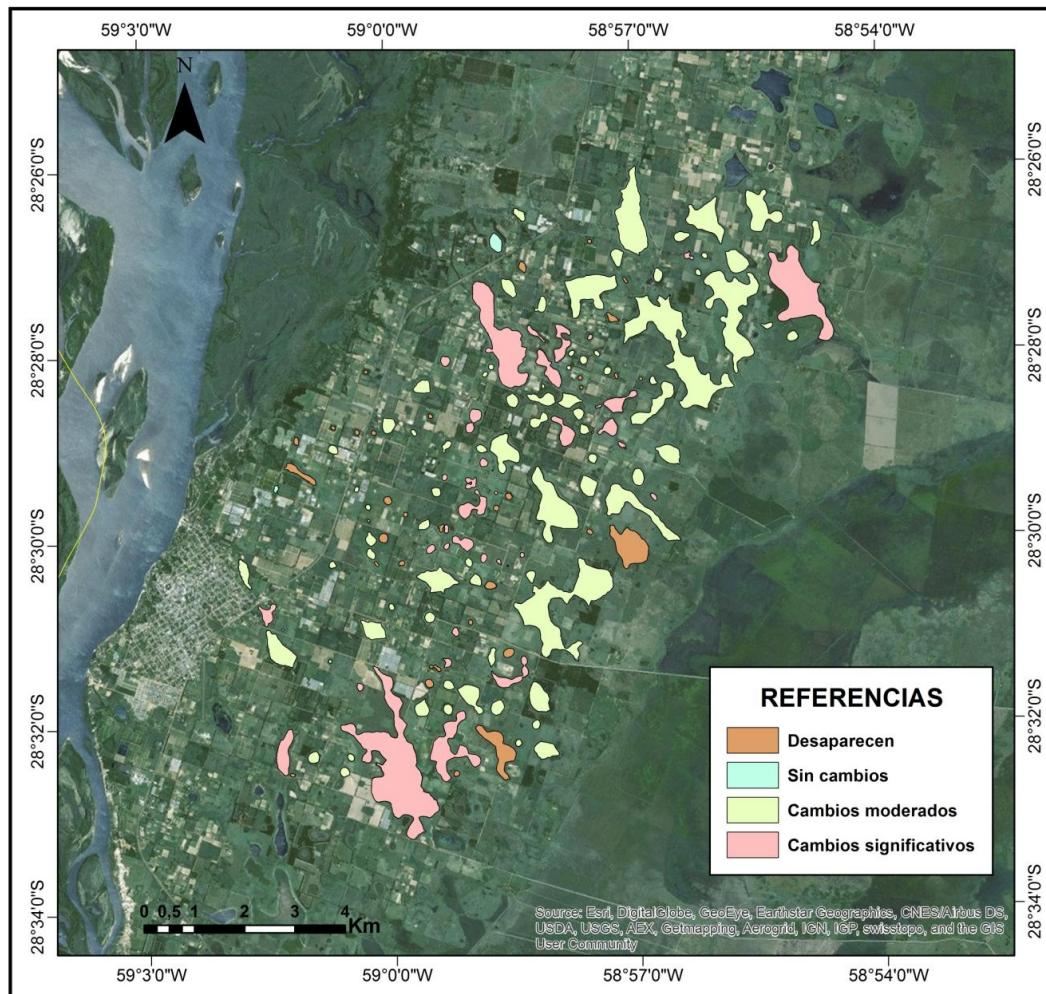
Esta situación permite inferir que existió una mayor conexión entre ellas y en consecuencia, que la morfología de la cubeta que las contiene, responde a un pasado mucho más húmedo que el actual, ya que todavía poseen capacidad de carga, pese al haber precipitado, en menos de diez meses, 200 mm más de la media anual de 1200 mm. Posiblemente, la morfología de las cubetas encadenadas se encuentra asociada con los períodos muy húmedos citados para la región por Contreras (2016) y Fernandez Pacella (2011).

Teniendo en cuenta su capacidad de amortiguación hídrica, se han clasificado a las lagunas según los valores de IC como se observa en la figura 75. Se puede decir que del total de 153 lagunas estudiadas, 80 sufrieron cambios *moderados*, 35 *significativos*, 2 han permanecido igual y 36 reaparecido. Si bien a primera vista pareciera que las lagunas con cambios significativos se encuentran ocupando la porción central de la lomada arenosa, no existe un patrón de distribución concreto. No obstante la intensa actividad agrícola y forestal que rodea a las lagunas sin dudas afecta la cuenca respectiva de cada

laguna, limitando, entre otras cosas, su capacidad de carga y en consecuencia reduciendo su capacidad de amortiguación hídrica.

Figura 75

Clasificación de lagunas según la temporalidad e índice de cambio (Bella Vista, Corrientes)



Fuente: Elaboración personal

En su estado no conectado, las lagunas permanentes y temporales tienen una forma superficial que va de subcircular a elíptica. Las grandes lagunas presentan un D_L que oscila entre 1,3 y 3,5, con una mediana de 1,6.

El análisis de la información morfométrica de las grandes lagunas estudiadas por Dangav's (1976), ya sugería que las grandes lagunas pampeanas poco modificadas se caracterizaban por tener una forma de cubeta similar.

Las lagunas, especialmente aquellas más pequeñas, son un componente central del extenso humedal pampeano. Debido al drenaje y canalización crecientes en búsqueda

de la “agriculturalización” del humedal, sumados al colmatado de las cubetas ocasionadas por la erosión del suelo, su abundancia y tamaño estaría disminuyendo constantemente (Quiroz 2004).

Para Fregenal Martínez y Melendez (2010), múltiples combinaciones posibles entre los parámetros o factores que controlan la dinámica sedimentaria en un momento dado dibujan un espectro muy amplio de tipos de lagos y de las posibles evoluciones que estos experimentan en el tiempo. Por ejemplo dos lagos situados en la misma región, bajo el mismo contexto climático y régimen tectónico, con aguas de idénticas composición, pero que presentan morfometrías diferentes, tendrán variaciones ambientales y dinámicas sedimentarias comunes,  respuestas muy dispares que pueden divergir cada vez más conforme ambos lagos siguen evolucionando. Así una variación idéntica en el volumen de agua por falta de precipitaciones, en el menor gradiente implicará la exposición de grandes áreas y una fuerte somerización del sistema, mientras que en el que presenta mayor gradiente quedará expuesta una superficie pequeña y, por lo tanto, el reflejo de su dinámica y en sus características básicas será muy escaso. El primero se convertirá en un tipo de lago completamente diferente del inicial mientras que es probable que el segundo no varíe demasiado.

Aunque la morfometría de un lago está condicionada o depende a su vez de otros factores de control primario (tectónica, geomorfología) tienen por sí misma una gran relevancia tanto en la dinámica sedimentaria de un momento dado como a medio y largo plazo porque condiciona la arquitectura estratigráfica del registro sedimentario. (Fregenal Martínez y Melendez, 2010).

4.7. Comparación morfométrica de las lagunas de lomadas arenosas con lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio

Como lo destacan Håkanson (1981) y Fornerón *et al.* (2010); el estudio de las medidas de estos cuerpos de agua es importantes para compararlos con otros cuerpos de agua, de allí que las dimensiones deben ser expresadas en forma cuantitativa y por ello el uso de parámetros morfométricos.

En el continente sudamericano existen numerosas regiones, las cuales en la descripción de Iriondo (1997) se mencionan a las lagunas como uno de los elementos principales del paisaje. En este sentido podemos hacer mención del gran número de

lagunas de la llanura Chacopampeana, siendo las pampeanas las más estudiadas en Argentina en la actualidad.

La cuenca del río Paraná constituye una vasta región que, como lo establece Soldano (1947), abarca una superficie de 2.800.000 Km², con un recorrido de 4.000 Km, una descarga o derrame anual que totaliza 500.000 millones de m³, con caudales de crecida que pueden alcanzar 65.000 m³/s (año 1983). 

Como se ha destacado en Contreras y Paira (2015), dada la magnitud de la cuenca, es posible divisar diversos humedales, tanto lóticos como lénicos, cuyos orígenes y dinámicas geomorfológicas actuantes difieren completamente, al margen de encontrarse dentro de una misma región o a pocos kilómetros de distancia. A modo de ejemplo, aguas abajo de la confluencia del río Paraguay se observan cursos secundarios que, si bien son encauzados, también es posible apreciar un escurrimiento laminar sobre la llanura aluvial en los períodos cuando comienzan las inundaciones. A su vez, también se destaca la presencia de esteros, cañadas y bañados, que dependiendo de la pendiente del lugar escurren o estancan sus aguas.

El río Paraná Medio tiene una llanura aluvial de 20.000 Km² aproximadamente (Iriondo 1988; Ramonell, Amsler y Toniolo 2000) y contiene un mosaico heterogéneo de cuerpos de agua lóticos y lénicos, que van cambiando de formas y superficies de acuerdo a las variables dinámicas de los procesos fluviales y la evolución que a corto y largo plazo sufren las diferentes unidades geomorfológicas de su planicie aluvial. Su ancho es de 10 Km en Corrientes y va aumentando paulatinamente hasta su desembocadura, donde alcanza lo 60 Km aproximadamente.

La llanura aluvial está disectada por una densa red de cauces secundarios, algunos permanentes, y otros activos solo durante las inundaciones. Estos cauces secundarios de diversa jerarquía hidrológica (según su mayor o menor caudal) constituyen la red de drenaje de la llanura. Esta presenta distintas unidades geomorfológicas (Iriondo 1972, 1988, 2007a), que se inundan durante las crecientes de acuerdo a las cotas o alturas que presentan con respecto a las alturas de la superficie del agua.

Como se señalan Contreras y Paira (2015), en los picos máximos de las inundaciones, por ejemplo, durante los eventos de El Niño-Oscilación Sur—en adelante, ENSO—, las lagunas aluviales se fusionan en una superficie continua de agua que cubre toda la llanura, cambiando a veces drásticamente sus condiciones lénicas. Por el contrario, durante las fases de sequía, casi la mitad de las lagunas no tienen cauces

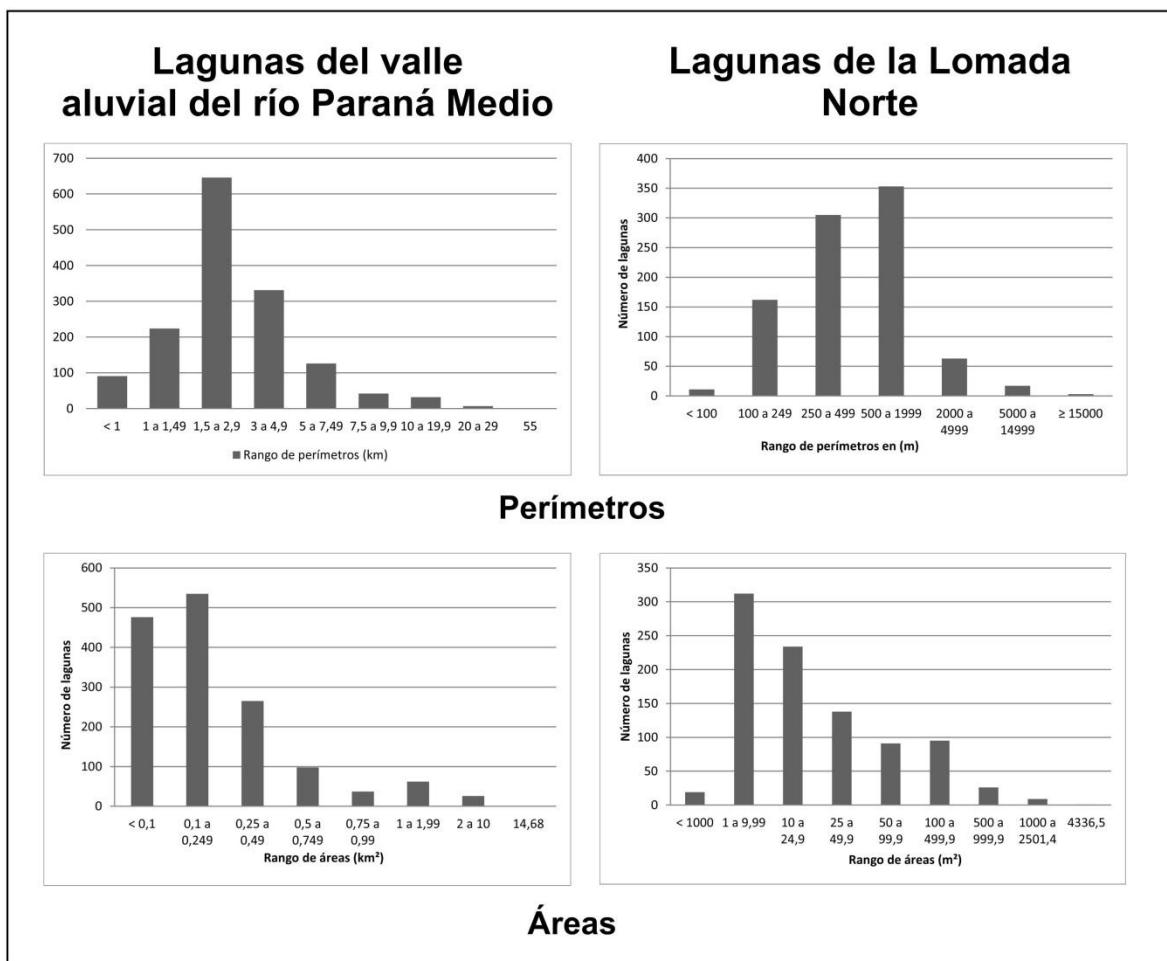
tributarios o emisarios, y la cuarta parte de ellas tiene solo uno. También algunas lagunas están conectadas con el río a lo largo del año y sus niveles de agua están directamente relacionados a las variaciones del cauce principal (Drago 1980, 1981; Drago *et ál.* 2003). En el hidrómetro de la ciudad de Paraná, el nivel hidrométrico medio del río varía anualmente 1 m aproximadamente, y alcanza variaciones anuales máximas de más de 4 m (periodo 1905 - 2011).

Paira y Drago (2007) clasificaron las lagunas aluviales en tres tipos principales de formas con subtipos: las redondas-ovaladas, las alargadas y las irregulares. Las primeras se subdividen en circulares, elípticas y gotas; las segundas, en alargadas finas y alargadas anchas.

En Contreras y Paira (2015) se analizaron 1.500 lagunas de la llanura aluvial y de las islas del cauce principal, entre las ciudades de Corrientes (provincia de Corrientes) y Diamante (provincia de Entre Ríos).

Con dicho trabajo, se pudo confirmar que las lagunas de lomadas arenosas pueden ser consideradas como pequeñas, ya que en los resultados de los cálculos del perímetro y la superficie de las distintas áreas de estudio se expresan en Km y Km² para las lagunas del valle aluvial del Paraná Medio, mientras que para las lagunas de lomadas arenosas las medidas se expresan en m y m², respectivamente. En otras palabras, es notable la diferencia morfométrica en cuanto a los tamaños encontrados entre las lagunas del valle aluvial y lagunas de la Lomada Norte (Figura 76).

Figura 76
Frecuencias de los perímetros y de las áreas lagunares en el valle aluvial del río Paraná Medio y la lomada Norte.



Áreas

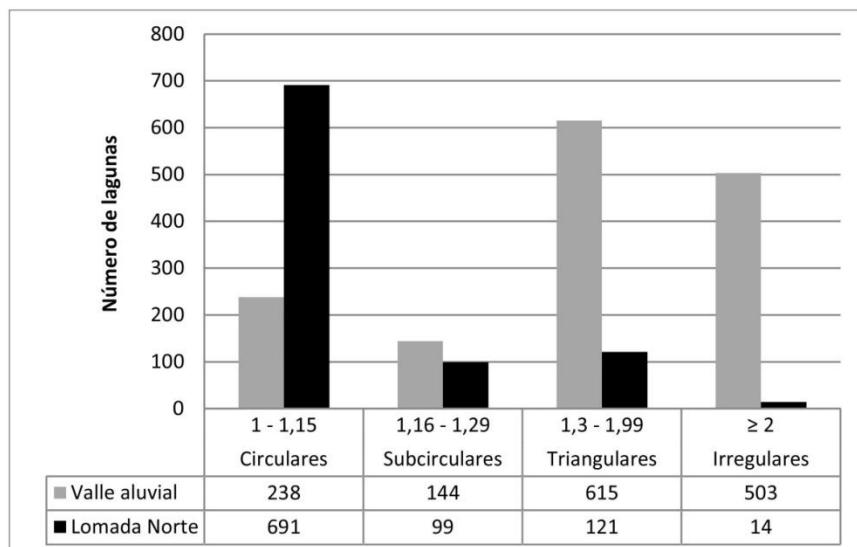
Fuente: Contreras y Paire (2015:67)

Las lagunas del Paraná presentan un perímetro con una media aritmética de 3,10 km. La mayor cantidad de lagunas (43% del total) tienen un perímetro entre 1,50 y 2,9 km; siguen las que tienen un perímetro entre 3 y 4,9 km (21%) y luego aquellas de 1 a 1,49 km (14%). Con respecto al área superficial de las lagunas, la media aritmética es de 0,32 km²: el 36% de estas tiene un área de 0,1 a 0,25 km², el 31%, hasta 0,1 km² y el 19%, de 0,25 a 0,49 km².

Respecto a los resultados de D_L, se observan notorias diferencias entre ambas áreas de estudio. En lo que respecta a las lagunas del valle aluvial del Paraná Medio, existe un predominio de lagunas triangulares, seguidas de lagunas irregulares. En menor medida se encuentran las lagunas circulares y subcirculares respectivamente (Figura 77).

Figura 80

Frecuencias del D_L de las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio y la lomada Norte

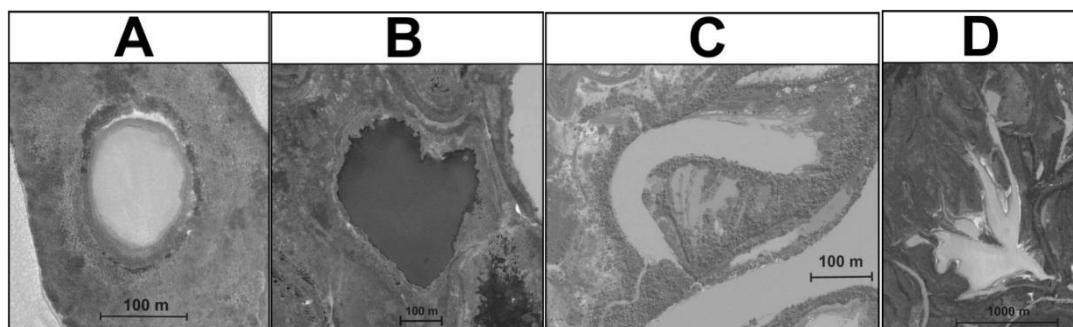


Fuente: Contreras y Paire (2015:67)

El D_L presenta una media de 1,84 y un coeficiente de variabilidad de 42%, este hecho se podría explicar debido a que lagunas con diferentes áreas y formas pueden tener valores similares D_L . Las más numerosas (41%) son las que poseen un D_L entre 1,3 y 1,99, y que corresponden a lagunas triangulares o de forma de gota según Paire y Drago (2006, 2007); les siguen, con un 33% aquellas con un D_L mayor o igual a 2, que corresponden a la forma irregular. El valor máximo calculado de este parámetro fue de 7,61 y solo hay 12 lagunas con valores superiores a 4,48 (Figura 78).

Figura 78

Morfología de las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio



Valores de D_L : A. 1,10; B. 1,20; C. 1,40 y D. 2,92.

Fuente: Contreras y Paire (2015:68)

La descripción mencionada está ligada a que dichas lagunas presentan formas alargadas (Paira y Drago 2006, 2007), debido a que el 75% de ellas corresponden a formas que no son ni circulares ni subcirculares, y van adquiriendo formas circulares a medida que evolucionan hacia una senescencia, pasando por un ambiente de pantano y finalmente a terrestre (proceso de terrestralización o colmatación). Este proceso puede verse interrumpido cuando ocurren los pulsos de inundación (Junk, Bayley y Sparks 1989) o hidrosedimentológicos (Neiff 1990) e ir variando la importancia espacial que ocupan las aguas de acuerdo a procesos climáticos, como el ENSO; factores que generan un “reseteo” (Sparkset *et al.* 1990), en el cual el ambiente de pantano, casi senescente, geomorfológicamente hablando, vuelve a su estado anterior como laguna.

En definitiva, resulta de interés hacer un seguimiento de las formas de estas lagunas, ya que sus cambios morfológicos pueden suceder de un pulso de inundación a otro.

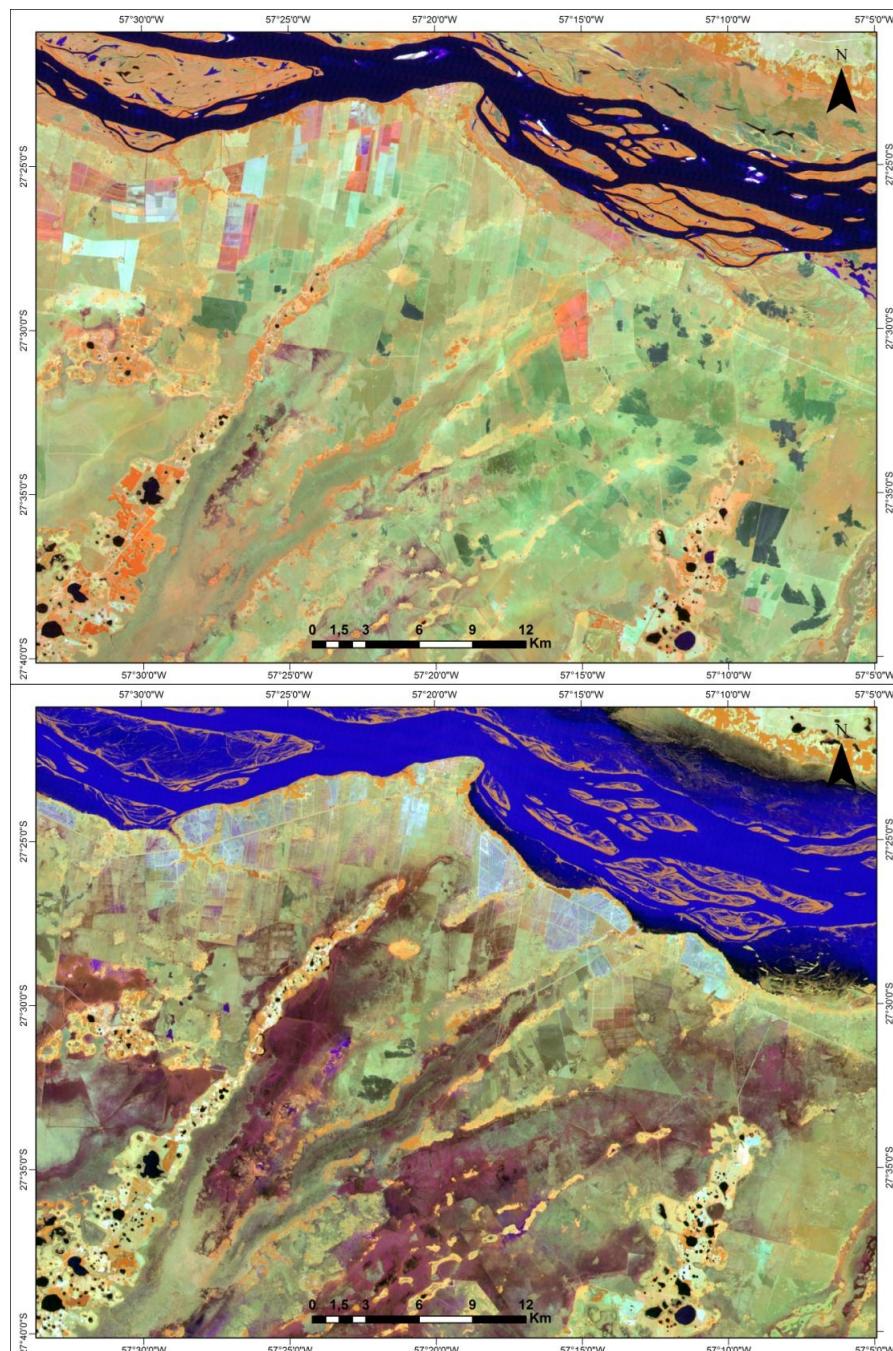
Por el contrario, sobre la Lomada Norte y en el paisaje de lomadas arenosas en general, se observa un predominio absoluto de lagunas circulares, las cuales representan el 72 % de las formas en toda la región. Los resultados de esta investigación demostrarían que dicha morfología se encontraría relacionada, más que al proceso que dio origen a las lagunas, a la dinámica natural de estos cuerpos de agua, ya que; como se ha destacado, las formas más complejas responden a procesos de anegamientos y la tendencia observada sobre las lomadas arenosas es a la segmentación de las lagunas que, sumados a la erosión de la costa producida por el oleaje, van modelando la cubeta hacia formas más simples, hasta convertirse en circulares. En este sentido, en períodos húmedos, a medida que van conectándose con otras lagunas, van adquiriendo formas más complejas, según las etapas de evolución mencionadas por Contreras (2011), sin embargo en períodos secos, en algunos casos se pueden dar una involución e invertir las etapas mencionadas.

La figura 79 muestra un claro ejemplo de las diferencias significativas que existen entre las lagunas de ambos paisajes, separadas por una distancia inferior 10 Km lineales. Por un lado, las lagunas del valle aluvial del Río Paraná quedan completamente bajo agua durante el pulso de inundación y con ello, no solo se renuevan las aguas, sino que además las lagunas recuperan su forma de origen mediante el “proceso de reseteo” mencionado. Por otra parte, al mismo tiempo de producirse el pulso de inundación, las lagunas en lomadas arenosas no presentan ningún tipo de alteración, más que la

reducción o desaparición de cuerpos de agua tal como sucedió para el 2008, en respuesta a la falta de precipitaciones por tratarse de un año seco.

Figura 79

Comparación entre las situaciones de las lagunas del valle aluvial con las lagunas de lomadas arenosas durante un pulso de inundación del río Paraná. Años 2008 y 1998.



Combinación de Bandas 4-5-3 del satélite LANDSAT 5 TM Path/Row 225/07). Años 2008 (Superior) y 1998 (Inferior).

Fuente: Elaboración personal

Como se destacó en Contreras y Paire (2015), 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 el perímetro aumenta considerablemente en relación a la superficie, incrementando los valores de D_L . A medida que se va ensanchando el canal que las une, los valores de D_L van a disminuir, ya que el perímetro se mantiene o crece relativamente, mientras que la superficie va aumentando.

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

En síntesis, se puede decir que ambos tipos de lagunas adoptan formas redondeadas a medida que aumentan avanza el proceso de extinción de las mismas. Sin embargo, las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio evolucionan de formas alargadas a circulares debido a procesos de sedimentación, pero los pulsos hidrosedimentológicos reinician su cubeta permitiendo en muchos casos adquirir sus formas originales; mientras que las lagunas de las lomadas arenosas, al depender de las precipitaciones locales, evolucionan de circulares a formas más complejas en períodos húmedos y retornan a las formas circulares en períodos secos, modelando consigo la morfología de la cubeta en forma circular, como se ha destacado. En este sentido, las formas circulares ocurren en procesos de sedimentación y en procesos activos de erosión, como por ejemplo la producida por el oleaje sobre la costa.

La comparación de la morfometría destacada en Contreras y Paire (2015) entre las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio y las lagunas de la Lomada Norte, por medio del empleo del D_L , ha permitido demostrar que si bien se encuentran muy próximas espacialmente, tienen génesis y dinámicas geomorfológicas diferentes; los resultados obtenidos son significativos y muy contrastantes.

Si bien son cuerpos de agua con una génesis y procesos geomorfológicos diferentes, los resultados demostraron que se trata de paisajes con procesos activos y susceptibles a cambios en cortos períodos de tiempo y, por lo tanto, muy vulnerables.

La forma circular sería la forma más representativa de las lagunas en general. Ya sea en su génesis o en los procesos que intervienen en el modelado de la cubeta, estos cuerpos de agua van adoptando con el tiempo formas más redondeadas o de bordes suavizados.

En este sentido, se pueden destacar los trabajos de Bohn *et al.* (2011), quienes mencionan el predominio de estas formas en lagunas pampeanas; Nunes da Silva Meneses (2010), que señala un predominio de un 48% de formas subredondeadas seguidas de un 24% de lagunas circulares para en Boa Vista (Roraima, Brasil); en los Pirineos, 550 de los 1031 lagos son circulares, aunque Castillo Jurado (1992) destaca que dichos valores pudieron ser sobreestimados y que muchos de ellos tendrían más bien formas redondeadas.

Sin embargo, dado a lo someras que son las lagunas, principalmente de la llanura Chacopampeana, es posible detectar cambios morfométricos y sin dudas morfológicos muy significativos cuando se realizan estudios entre distintos períodos. Como ya se ha mencionado, en años muy húmedos asociados al de “EL NIÑO”, las lagunas pueden desbordarse o bien reactivarse los canales de conexión entre estos cuerpos de agua y aumentar, en consecuencia, el número de formas más complejas; mientras que, de ocurrir un período seco, aumentarán las formas más simples, relacionadas con la segmentación y reducción de la superficie de las lagunas.

Un ejemplo de ello se puede encontrar en el trabajo de Bohn *et al.* (2011) que mencionan para el Sur de Buenos Aires un predominio de lagunas con formas circulares alcanzando un valor de 2.170 en el año 1998. Sin embargo, en el año 2002, el número crece un 13,9 % llegando a 2.523 lagunas circulares. Esta diferencia de 353 cuerpos de agua se encontraría relacionada a los procesos de segmentación entre lagunas y a la reducción de sus superficies, ya que en 1998 se manifestó el fenómeno del “EL NIÑO” disminuyendo con ello los valores de las formas circulares.

Capítulo 4

El riesgo de anegamiento por el avance del crecimiento espacial de las ciudades sobre el paisaje de lomadas arenosas

Como se ha destacado en el Capítulo anterior, las lagunas de las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes poseen una rápida respuesta a los períodos húmedos y secos, pudiendo secarse por completo, para volver a resurgir en menos de un año.

Este dinamismo repercute en el paisaje regional y en consecuencia, su posición frente al desarrollo de la población, ya sea mediante en relación con el crecimiento espacial de las ciudades, como así también con el desarrollo de las actividades económicas y sociales que en ellas tiene lugar.

La interacción población/lagunas o lagunas/población, lejos se encuentra de ser una relación sin conflictos espaciales. Es por ello que al hablar de cómo repercuten las dinámicas naturales y las respuestas hidrológicas de las lagunas, podemos encarar la investigación desde dos perspectivas frente a un mismo problema. Por un lado, se podría decir que la población se expone a riesgos de anegamiento por el asentamiento en lugares pertenecientes a lagunas, ocupando un rol de “victima”; mientras que por otro lado, se puede invertir la cuestión y la población tomaría un rol de “victimario”, si consideramos que altera o extingue a las lagunas en pos de su desarrollo, alterando el equilibrio natural existente.

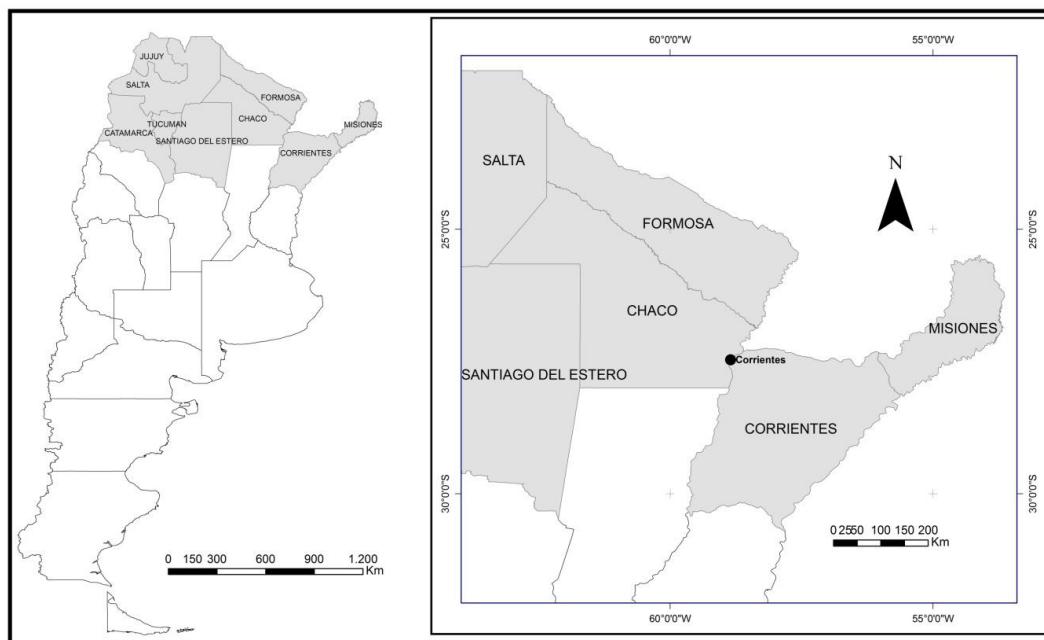
Consideramos oportuno analizar ambas posiciones desde una postura neutral, para lo cual se describen ambas situaciones, teniendo como área de estudio un mismo recorte espacial, que en este caso es la ciudad de Corrientes.

5.1. El riesgo de anegamiento como consecuencia del crecimiento espacial de las ciudades en períodos secos.

Las ciudades de la región Norte Grande Argentino (conformada por las provincias de Misiones, Corrientes, Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Tucumán, Jujuy, Salta y Catamarca (Figura 80)), experimentaron un fuerte crecimiento a partir de la segunda mitad del Siglo XX, fundamentalmente por el aporte de población procedente de la migración rural y de núcleos urbanos menores ante los sucesivos períodos de crisis de los diferentes cultivos y los cambios operados en la estructura productiva de las economías

provinciales (Mignone 2010). Por otra parte, se han registrado procesos de relocalización espacial de la misma población urbana, a veces en forma planificada y en otras oportunidades de manera informal, lo que ha llevado a la expansión de las áreas urbanizadas (Meichtry y Mignone 2003).

Figura. 80
Provincias pertenecientes a la Región Norte Grande Argentino y ubicación de la ciudad de Corrientes.



Fuente: Elaboración personal en base a Mignone (2010)

El crecimiento sobre sectores periféricos o sin urbanizar genera especulación inmobiliaria por parte de empresas, agencias gubernamentales, intereses privados, etc., así como también por parte de los nuevos moradores localizados en dichos terrenos. En particular, a partir del año 2000 se produjo un aumento importante del número de instalaciones informales en terrenos privados, generando verdaderos conflictos entre los propietarios legales, los nuevos ocupantes y los organismos estatales (Mignone 2008).

Asimismo, es evidente que las ciudades no suelen crecer en sectores concéntricos sucesivos. Lo hacen, en general, a lo largo de ejes de transporte, a partir de núcleos pequeños disgregados sobre el territorio que se van siendo incorporadas. Este proceso supone una enorme fragmentación de los sistemas naturales o seminaturales y deterioro de su potencial para prestar servicios ecológicos y mantener la biodiversidad (Terradas *et. al.* 2011).

En otras ocasiones, la expansión urbana mantiene cierta dirección debido a la presencia de barreras naturales, como un río, o propias de las actividades de la población, tales como un aeropuerto o una vía ferroviaria. En estos casos, se produce una demanda desmedida de los mejores espacios disponibles, generando marcados contrastes en la ocupación del espacio y la valorización del suelo. La expansión urbana más precaria es la que suele quedar expuesta a determinados riesgos naturales, situación en la cual, según Chardon (1998) “*intervienen dos componentes principales: el fenómeno natural potencialmente dañino (la amenaza) y la sociedad amenazada susceptible de sufrir los daños (la sociedad vulnerable)*”. Sin embargo, estas situaciones de exposición al riesgo en un medio urbano pueden ser prevenidas si se realiza un ordenamiento territorial local.

Según Berrenechea *et al.* (2000), habitualmente sólo se pone el énfasis en los aspectos físicos naturales desencadenantes y en la magnitud del daño producido en cada caso, lo que permite dar cuenta de otras dimensiones que hacen a la complejidad del problema en cuestión, cuya consideración permitiría lograr una disminución de las consecuencias catastróficas. En ese sentido Natenzon (1995:2) ha identificado cuatro dimensiones íntimamente relacionadas entre sí:

1. *La peligrosidad, que se refiere al potencial peligroso que tiene los fenómenos naturales (espontáneos o manipulados). Una forma de manejar la peligrosidad es conocerla, para lo cual el aporte de las ciencias naturales básicas y aplicadas es imprescindible.*
2. *La vulnerabilidad, que se encuentra definida por las condiciones socioeconómicas previas a la ocurrencia del evento catastrófico.*
3. *La exposición, que se refiere a la distribución de lo que es “potencialmente” afectable, la población y los bienes materiales “expuestos” al fenómeno peligroso. Es una consecuencia de la interrelación entre peligrosidad y vulnerabilidad, y –a la vez– incide sobre ambas. Esta componente se expresa territorialmente como construcción histórica que entrelaza los procesos físicos naturales con las relaciones socioeconómicas, configurando determinados usos de suelo y distribución de la infraestructura, asentamientos humanos, servicios públicos, etc.*
4. *La incertidumbre, que se relaciona con las limitaciones en el estado del conocimiento (incertidumbre técnica) y las indeterminaciones en cuanto a competencias institucionales y aspectos normativos (incertidumbre*

social); al mismo tiempo, estas limitaciones y la complejidad de los fenómenos en cuestión impiden el manejo de la totalidad de variables involucradas, impregnando de incertidumbre los procesos de toma de decisiones.

Berrenechea *et al* (2000), a su vez destacan que con frecuencia los autores que se refieren a riesgos y desastres asocian a la vulnerabilidad íntimamente ligada con el concepto de pobreza que, como señalan Blaikie *et al.* (1998), la vulnerabilidad y la pobreza no son sinónimos.

Olcina Cantos (2004:64) menciona que en España existen dos posturas principales en el análisis del peligro de inundaciones durante los últimos años, que con el desarrollo de esta investigación se pudo comprobar que se manifiestan en Corrientes y en otras provincias de Argentina.

“Por un lado, la postura “técnica-administrativa” que defiende que se estarían produciendo más episodios de inundación – por causa climática- que son fruto de la “impresibilidad”, esto es, del azar de la propia naturaleza y ello traería como consecuencia la génesis de mayores desastres. Por otra, la postura “ético-geográfica” según la cual, en virtud del análisis de la realidad territorial de cada espacio geográfico a partir del trabajo de campo, el riesgo ante episodios de inundación se habría incrementado, sobremanera, en los últimos lustros merced a la implantación de los usos urbanos y de ocio poco acordes con los rasgos físicos del medio y ello habría provocado un aumento de la vulnerabilidad de las poblaciones asentadas en territorios de riesgo”.

Para Berrenechea *et al.* (2000) es importante señalar que si tomamos sólo el momento de la catástrofe (corte sincrónico), el fenómeno puede afectar a distintos grupos sociales sin importar su condición socioeconómica (por ejemplo, una explosión o una inundación no prevista). En cambio, si se hace un análisis diacrónico, que considera a las catástrofes como actualización del riesgo, en el antes, en el durante y en el después del desastre, las condiciones concretas en las que cada grupo se puede preparar o reconstruir son muy diferentes.

Asumir el carácter reflexivo de los actores de la modernidad desplaza el centro de la atención de la fatalidad hacia la responsabilidad propia. Así, se modifica la percepción del problema y los riesgos pasan de ser considerados una situación fatal externa a ser

asumidos como responsabilidad de los actores, sus actos y decisiones. En consecuencia, los desastres no pueden considerarse obras divinas, fortuna o fatalidad (Giddens 1990).

Según Clichevsky (2006:40), en la actualidad *“las inundaciones en ciudades argentinas se producen por lluvia y desbordes, debido a la existencia de actividades urbanas en zonas que siempre fueron inundables y a las modificaciones del comportamiento del sistema hídrico por efecto de la ocupación del suelo. Desde 1985 hasta marzo de 1998 se produjeron, sólo en la ciudad de Buenos Aires, un total de 26 procesos de inundación por precipitación y desborde del sistema de desagües”*.

La ciudad de Corrientes es el centro urbano más antiguo del noreste argentino. Su fundación fue realizada por Juan Torres de Vera y Aragón el 3 de abril de 1588, como parte de las obligaciones contraídas por el adelantado de la corona española, Juan Ortiz de Zárate. Su ubicación era estratégica y aseguraba un puerto a las comunicaciones fluviales entre Asunción y el Río de la Plata. Ya en 1581, Fray Juan de Rivadeneyra, había advertido su privilegiada ubicación geográfica (Maeder y Gutiérrez 2003).

El sitio del emplazamiento presenta inconvenientes, dado que está limitado por el río Paraná al norte y al oeste, lo que obliga a que la expansión opere hacia el E, SE y S. No obstante, éste no es el único condicionante, ya que la ciudad está rodeada de bañados y esteros, motivo por el cual su crecimiento espacial se orientó preferentemente hacia la Lomada Norte, que se distingue del terreno circundante por presentar mayores alturas, suelos con buen drenaje y un paisaje de pastizales con isletas boscosas (Figura 81).

Figura 81
Paisaje de pastizales e isletas boscosas, San Cosme (Corrientes)



Fuente: Fotografía de Edwin Harver. Año 2011

Las numerosas lagunas, algunas de las cuales pueden evaporar por completo el agua de sus cubetas en períodos secos, dejan espacios que son ocupados por la población, usualmente en forma espontánea o a causa de una escasa, nula o incorrecta planificación inmobiliaria. En los períodos lluviosos pueden presentarse, por lo tanto, distintas problemáticas.

La ciudad de Corrientes se localiza en el extremo noroccidental de la provincia de Corrientes a los 27° 28' S y 58° 50' W, sobre la margen izquierda del río Paraná.

Es importante destacar que la población de la ciudad de Corrientes, a lo largo de su historia ha quedado expuesta ante determinados riesgos o ha tenido que sobrellevar ciertas eventualidades desfavorables en la ocupación de nuevos espacios.

Entre 1760 y 1814, según Maeder y Gutiérrez (2003), la ciudad duplicó su población. De 2.514 habitantes estimados en 1769, pasó a 4.771 en 1814 y a 5.308 en 1820 (Tabla 14). Este crecimiento se manifestó también en la expansión de la planta urbana.

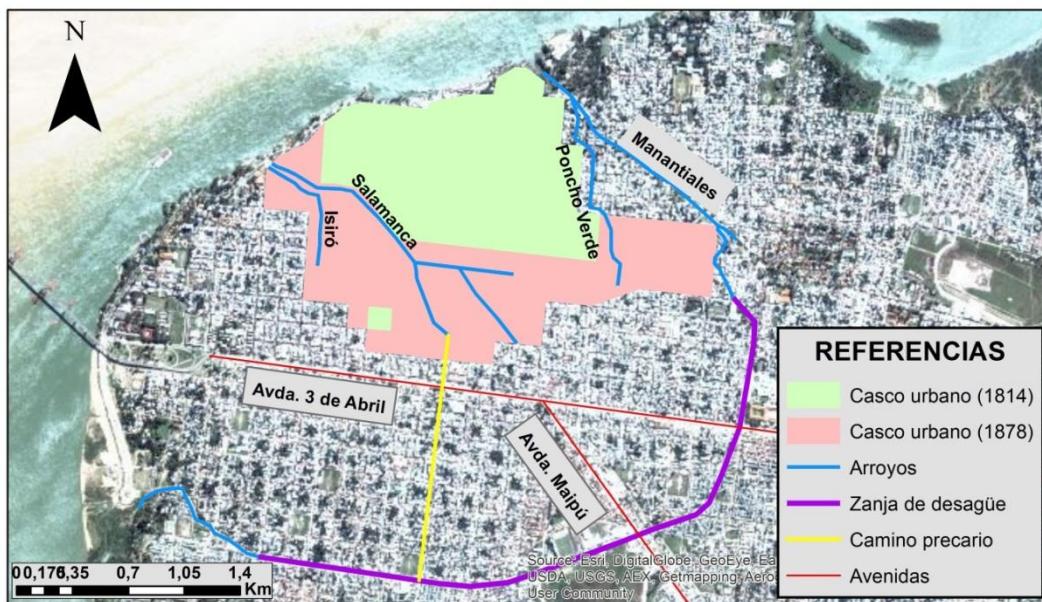
Tabla 14. Evolución de la población de la ciudad de Corrientes

Año	Población	Año	Población
1769	1.769	1960	105.915
1814	4.771	1970	137.823
1820	5.308	1980	187.757
1869	1.448	1991	268.080
1895	21.588	2001	328.868
1914	39.031	2010	358.223
1947	71.856	2011	389.430

Fuente: Maeder y Gutiérrez (2003) y Ramírez *et al.*, (2013)

Hacia 1802, al casco urbano se adjudicaban doce cuadras en dirección este - oeste y diez en sentido norte – sur. Dichas cuadras no estaban edificadas en su totalidad, ya que había en ellas extensos baldíos y huertas que tornaban irregular su trazado. Los arroyos Salamanca e Isiró al sudoeste y el Poncho Verde y el Manantiales al este, limitaban la expansión de la ciudad. Ceñida por el río Paraná en el norte, su crecimiento se diluía hacia el sur, donde se hallaba, todavía aislada, la capilla de la Cruz, actualmente en el corazón del centro urbano (Figura 82).

Figura 82
Plano de la Ciudad de Corrientes desde 1814 a la actualidad.



Fuente: Elaboración propia en base a Maeder y Gutiérrez (2003)

Si bien los arroyos mencionados constituyan los límites naturales de la ciudad, el escurrimiento en las calles mal niveladas representaba un importante problema a resolver

ya que las aguas abrían profundas zanjas que debían rellenarse periódicamente. En ocasión de las fiestas religiosas, la práctica habitual consistía en colocar vigas atravesadas para impedir que las aguas se llevaran la arena de las calles (Maeder y Gutiérrez 2003).

Según Gutiérrez y Sánchez Negrete (1988), como las calles y senderos de la ciudad no eran mantenidos de manera sistemática padecían los estragos del trajín de las cabalgaduras y del ganado, así como de las lluvias torrenciales o las inundaciones que los convertían en torrentes y los inhabilitaban con profundos zanjones. Dichos autores también mencionaron que debido a que la ciudad no poseía un adecuado sistema de drenaje y acequias, en tiempos de lluvia se formaban verdaderas “avenidas” de agua que obligaron a levantar las galerías de las casas y a instalar cimientos de piedra más altos para evitar el desmoronamiento de las casas y rancheríos construidos con estanteo o adobe.

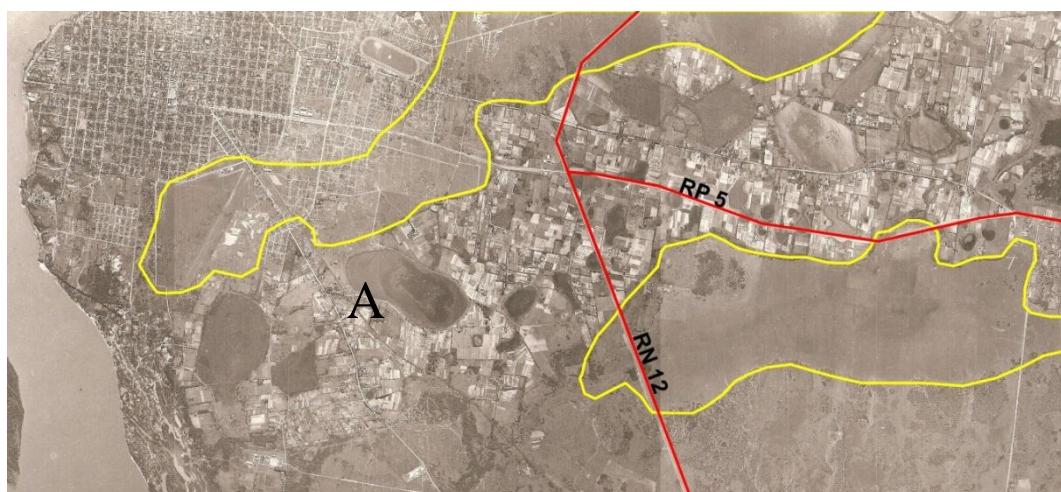
Entre 1826 y 1854 se rectificaron las calles y se generó la nomenclatura urbana. La zanja de desagüe que corría al sur, entre las nacientes de los arroyos Limita y Manantiales, constituía el límite de la ciudad. Las epidemias de cólera (1868) y de fiebre amarilla (1871) obligaron a clausurar los antiguos cementerios y a habilitar otro al sur de la zanja de desagüe (1873), al que se llegaba en 1875 por un camino precario. Entre 1929 y 1944, se construyó la avenida costanera y, más tarde, el entubamiento de los arroyos Salamanca (1932 – 1938) y Poncho Verde (1957 – 1959), la pavimentación de las avenidas 3 de Abril (1949 – 1952) y Maipú (1958 – 1960), permitieron una rápida urbanización, mientras que extensos espacios públicos como el hipódromo y el campo de aviación del Aero Club, se convirtieron en barreras que frenaban la nueva expansión que experimentaba la ciudad (Maeder y Gutiérrez 2003).

Desde 1950 hasta la actualidad, la ciudad de Corrientes ha eludido las distintas vicisitudes que se fueron presentando en la ocupación de nuevos espacios. En primer lugar, se esquivaron los distintos arroyos que se encontraban dentro del casco urbano, los cuales posteriormente fueron entubados en vistas de una densificación de la ciudad. Lamentablemente, si bien hoy en día se han realizado obras que mejoran el sistema de desagüe pluvial, los valles de estos arroyos continúan activos y, sumado al encauzamiento producido por las calles y a la saturación de dicho sistema, entre otros; dentro del casco céntrico se forman verdaderos torrentes que traen aparejados importantes problemas a la ciudad en períodos de intensas lluvias.

Por otra parte, fuera del casco histórico de la ciudad, los paisajes se diversifican y aumentan las áreas anegables. La compilación de fotografías aéreas del año 1950, muestra la situación de la ciudad y sus áreas aledañas (Figura 83). Por aquellos años, la ciudad presentaba sus límites donde comienza la superficie anegadiza de la planicie que bordea a la lomada arenosa (Figura 86, delimitada con color amarillo). Por otra parte, se observa cómo la Lomada Norte se encuentra ocupada casi en su totalidad por campos destinados a actividades agrícolas, que contribuían al abastecimiento de la ciudad, así como un importante número de lagunas, dos de ellas de gran porte.

Al superponer las imágenes satelitales con la compilación fotográfica¹⁸, se observa que en la actualidad la ciudad ha avanzado ininterrumpidamente ocupando toda la superficie de la Lomada Norte hasta la Ruta Nacional N° 12. En 1950, la ciudad de Corrientes abarcaba una superficie aproximada de 17 Km² y desde entonces, hasta el año 2012, el crecimiento fue de 33 Km², es decir que ahora son 50 Km². En otras palabras, el crecimiento espacial en estos últimos 62 años duplicó el casco urbano al existente en el año 1950.

Figura 83
Fotografía aérea de la ciudad de Corrientes en el año 1950



A: Barrio Laguna Seca

Fuente: Instituto Nacional de Limnología (CONICET – UNL)

Como consecuencia de ello, se han modificado el paisaje y la cobertura del suelo. En primer lugar, la expansión urbana ha contribuido a la desaparición de 33 lagunas de la Lomada Norte equivalentes a aproximadamente 3,4 Km² (10% de los espacios ocupados

¹⁸ La georreferenciación de la fotografía aérea fue llevada a cabo mediante el software Global Mapper 15.1.

por el crecimiento espacial). Sobre una de las citadas lagunas de gran tamaño, se ha edificado el barrio llamado “Laguna Seca”, el que presenta en la actualidad grandes problemas de anegamiento (Figura 83 (A)).

En síntesis, la ciudad de Corrientes muestra dos situaciones opuestas luego de importantes precipitaciones. Por un lado, la formación de torrentes en los valles de los antiguos arroyos dentro del casco histórico de la ciudad y, por el otro, el estancamiento de las aguas en antiguos lugares ocupados por bañados y lagunas en los nuevos espacios de ocupación. En ambos casos, la población desprevenida queda expuesta a pérdidas materiales (principalmente de vehículos) sin importar su condicional social. No obstante, son los nuevos espacios de ocupación, sin antecedentes previos, donde las pérdidas materiales pueden estar asociadas a las viviendas como se muestra en la figura 84.

Figura 84

Fotografía de una familia afectada por las lluvias del mes de abril de 2014 en la localidad de Santa Ana de los Guácaras (San Cosme, Corrientes)



Fuente: Base de datos personal. Mayo de 2014

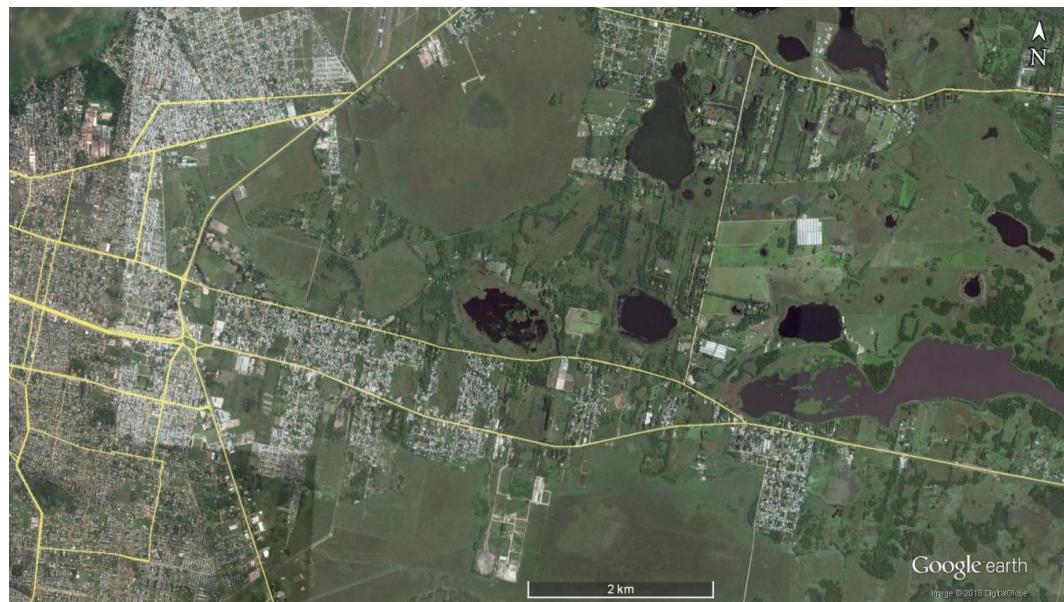
Los conocimientos sobre la ubicación de las lagunas son muy significativos y constituyen un importante antecedente a tomar en cuenta a la hora de planificar la ocupación de nuevos espacios de crecimiento.

“Los nuevos procesos económicos, especialmente a partir de los años Noventa del siglo pasado, han traído como consecuencia diferentes formas de inversión en la ciudad. Ha cambiado el submercado residencial. El paralelo a la polarización mayor de la sociedad, este submercado ha respondido con nuevas “mercaderías”: viviendas lujosas, para los sectores de más altos ingresos, clubes de campo, barrios cerrados, hasta ciudades privadas, que significan transformaciones territoriales ambientales (modificación hasta de topografías, por grandes movimientos de tierra, por ejemplo, que traen como consecuencia nuevos problemas urbano-ambientales: taponamiento de bañados, cambios de escorrentías y, por lo tanto, mayores posibilidades de anegabilidad del territorio que en otros períodos históricos”. Clichevsky (2006:35)

En la actualidad, el crecimiento de la ciudad ocurre en dirección NE y E, a lo largo de la Ruta Nacional 12 con dirección NE (RN 12) y la Ruta Provincial 5 (RP 5) con dirección E (Figura 85). Esta última ruta fue trazada sobre la lomada arenosa y presenta una topografía más elevada. Por este motivo, el principal crecimiento espacial de la ciudad se realiza a lo largo de la RP 5, hasta llegar a la localidad Laguna Brava, que forma parte del área conurbada.

Figura 85

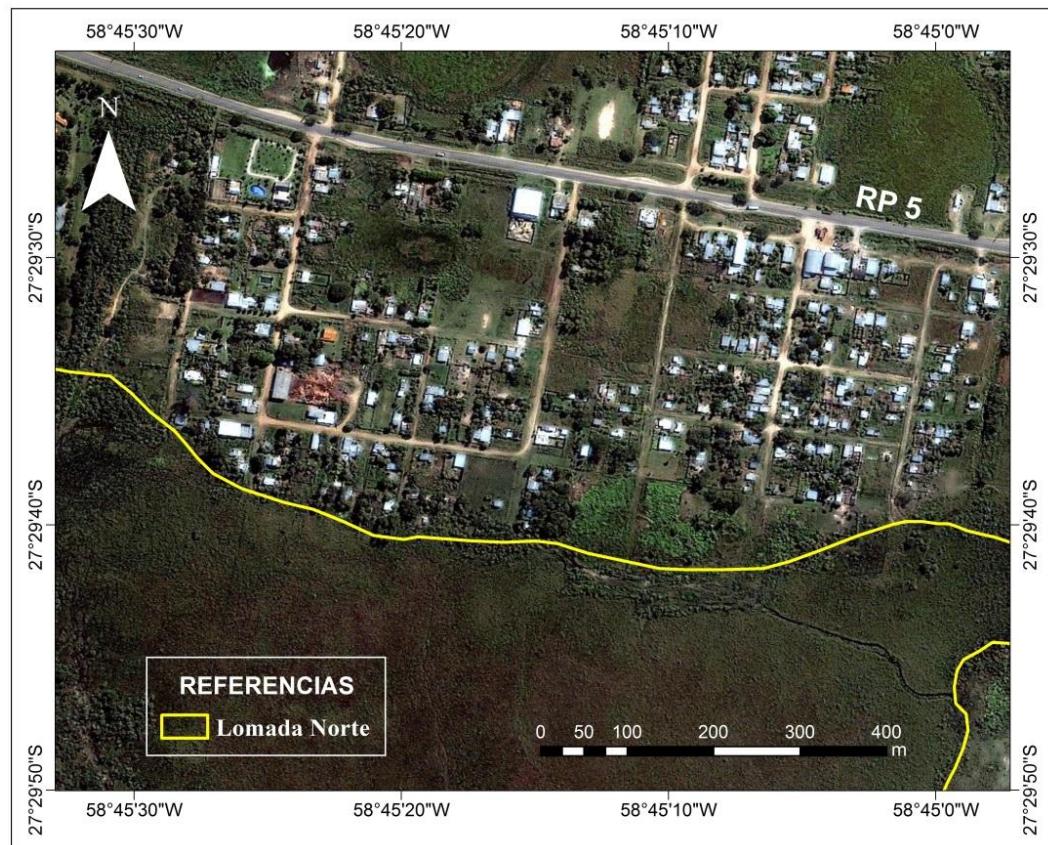
Crecimiento espacial del área urbana de la ciudad de Corrientes con dirección NE y E. Año 2016



La figura 86 muestra cómo, en la actualidad, el límite del crecimiento de la ciudad evita los espacios desfavorables, ya que las manzanas, calles y casas que se observan se ubican sobre el límite sur de la Lomada Norte, dando luego comienzo a un paisaje de esteros. En otras palabras, la tendencia actual, dado a que todavía existen espacios sobre la lomada arenosa, es la de crecer siguiendo su ubicación, motivo por el cual el barrio Laguna Brava en poco tiempo quedó anexado al casco urbano de la ciudad de Corrientes.

El aeropuerto actúa como límite antropogénico a la expansión de la ciudad sobre el frente con dirección NE. Por otra parte, hacia el sur entre la RN 12 y la RP 5, gran parte del área está ocupada por bañados, siendo éste el principal motivo por el cual dicha zona se encuentra despoblada. A pesar de ello, se observa que se están trazando calles en estos espacios, con una fuerte demanda ocupacional, ya que los costos de adquisición son marcadamente inferiores en relación a los ofrecidos sobre la lomada.

Figura 86
Límite natural de la expansión con dirección E de la ciudad de Corrientes. Año 2010



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes del World Imagery

Debido a que la ocupación de dichos terrenos no ha sido acompañada por la realización de obras de desagüe pluvial, las viviendas que allí se construyen presentan serios inconvenientes de anegamiento en caso de precipitaciones abundantes, motivo por el cual se deben construir sus cimientos con una altura superior a 1,20 m (Figura 87). No obstante, éste no es el único inconveniente que se presenta, ya que las intensas lluvias también ocasionan que las calles de acceso a dichos terrenos, delimitadas sobre suelos arcillosos, se tornen intransitables dejando a las viviendas aisladas por los menos una semana.

Figura 87

Construcción de una vivienda sobre un paisaje de bañados secos. Corrientes, al sur del aeropuerto, año 2013



Fuente: Base de datos personal. Junio de 2013

En lo que respecta a la extensión de la ciudad de Corrientes hacia el sur, la situación es similar a la ya mencionada. Se destacan grandes espacios “vacíos”, los que corresponden principalmente a áreas de bañados que se alternan con algunos sitios relativamente más elevados y en donde aparecen espacios ocupados por sabanas arbóreas o con bosquecillos poco densos de *Prosopis affinis* y espartillares de *Elyonurus muticus* (Carnevalli 1994).

La ciudad avanza en los distintos frentes por medio de barrios planificados para habitantes de clase media, los que fueron erigidos en espacios que presentan condiciones

favorables para el drenaje, generando óptimos lugares para el asentamiento. Por el contrario otros, como el barrio planificado Laguna Seca, fueron trazados y construidos sobre terrenos bajos correspondientes a lagunas. Por esta razón, se detectan fuertes contrastes. Por un lado, la presencia de asentamientos espontáneos en las grandes áreas pertenecientes a bañados¹⁹, donde la precariedad de las viviendas sumada a las condiciones desfavorables del terreno, como ser el déficit de escurrimiento, dejan expuestas a la población a condiciones ambientales que favorecen la aparición de ciertas enfermedades. La falta de servicios mínimos como ser agua, luz, salud y transporte potencian dicha vulnerabilidad social (Figura 88). En el otro extremo, se encuentran los espacios que ofrece la Lomada Norte, que son de elevado costo y que se ofrecen como futuros barrios privados o clubes de campo.

Figura 88

Asentamiento espontáneo sobre bañados luego de precipitaciones. Ciudad de Corrientes, octubre de 2012



Fuente: <http://www.ellitoral.com.ar/es/articulo/224584/Galvan-okupas-con-terrenos-anegados--y-carpas-inundadas-por-la-tormenta>

No obstante, la expansión urbana sobre la lomada no ofrece garantías que aseguren un lugar propicio para el asentamiento. En ella existen grandes lagunas,

¹⁹Los bañados son, según Ringuelet (1962), aguas temporarias que ocupan terrenos bajos, planos o ligeramente cóncavos sin un horizonte orgánico turboso definido superficialmente. Son alimentados por lluvias que mantienen inundado el suelo alrededor de seis meses al año. En ellos las fases de sequía e inundación tienen límites difusos que dan lugar a reemplazos graduales en la integración florística (NEIFF, 2001: 25).

algunas utilizadas como espacio de recreación o en otros casos, como atractivo paisajístico de los barrios privados; pero también se encuentra un gran número de pequeñas cubetas muy someras, con limitada capacidad de retención de agua, motivo por el cual desaparecen en períodos de sequía dejando espacios libres de vegetación. Es precisamente sobre estos lugares donde la población se instala, quedando expuesta a situaciones adversas luego de importantes precipitaciones (Figura 89).

Figura 89

Aneamiento en casas construidas en lagunas. Santa Ana de los Guácaras (San Cosme Corrientes). Mayo de 2014

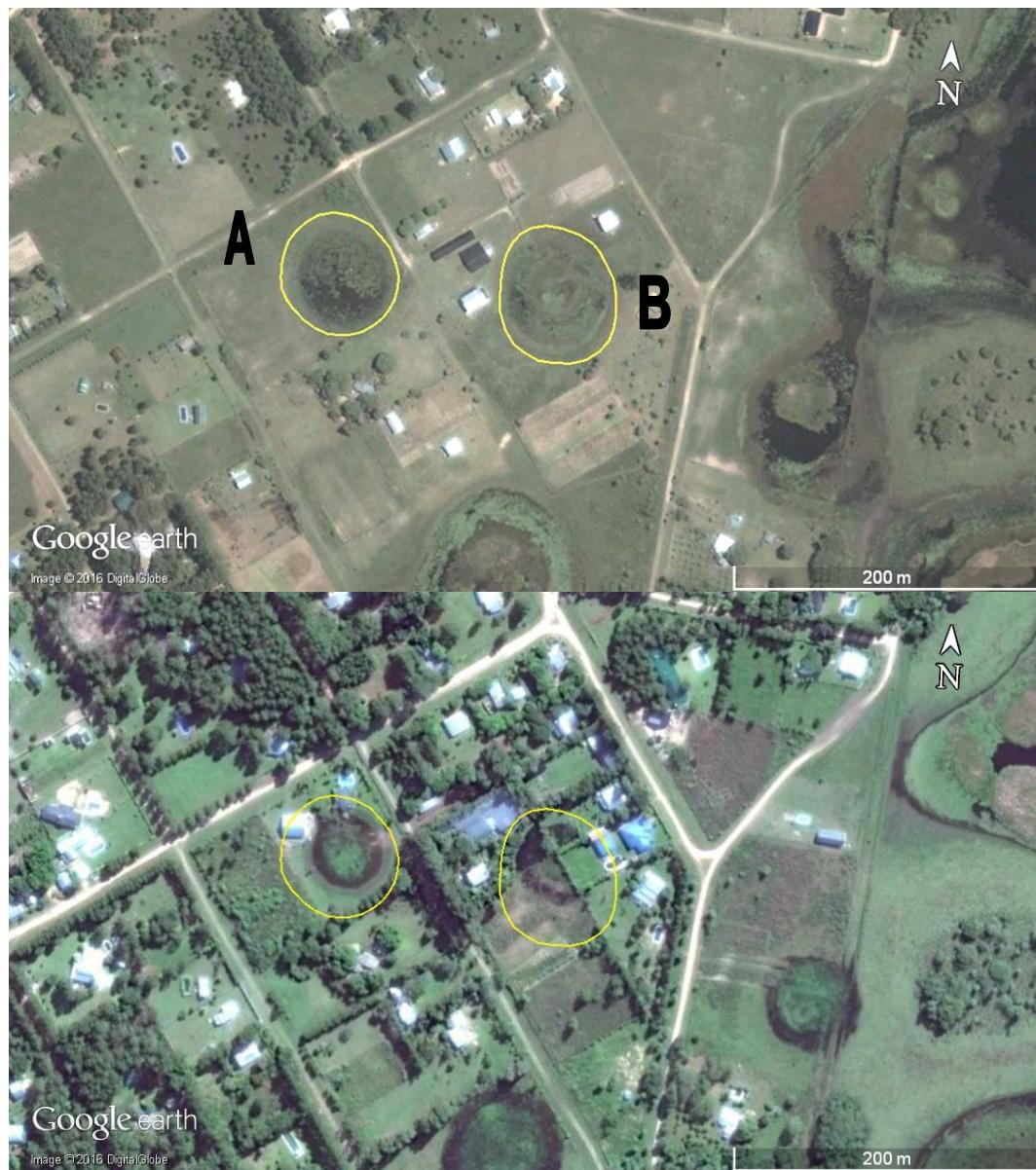


Fuente: Base de datos personal. Año 2014

La figura 90 muestra las imágenes satelitales de un mismo terreno capturadas en años diferentes. En la imagen del año 2003 se observan dos cubetas someras y otras dos más profundas además de un espacio poco poblado. Sin embargo, para el año 2005 ya se observa la construcción de una casa sobre la laguna (Figura 92 (laguna B)) ocupando el 25% de la cubeta, además de elevar el terreno, modificando la morfología de la cubeta; situación que se repite en la laguna A desde el año 2012.

Figura 90

Ocupación de lagunas en áreas periurbanas de la ciudad de Corrientes. Años 2003 y 2014



Fuente: Google Earth. 27° 28' 05" S y 58° 39' 57" O

Es evidente que la ocupación de estos espacios anegadizos se manifiesta en períodos secos, ya sean bañados o lagunas, cuando estos humedales se secan por completo por falta de lluvias, dejando grandes extensiones de tierra descubierta que, como se destacó anteriormente, son aprovechados por la especulación inmobiliaria. En este sentido, Clichevsky (2006:35) señala que *“la inundación afectará al mercado de tierra en su totalidad (incluso fuera del centro urbano) en cada uno de sus submercados en*

mayor o menor medida dependiendo de su dinámica y organización específica. Puede producirse una paralización total de todos o algunos submercados o sólo una baja en los precios más o menos importante, en un período acotado de tiempo". Es por ello que se deben agudizar los controles del mercado inmobiliario en ciudades como Corrientes, donde los paisajes aledaños son anegadizos y más aún si se alternan períodos húmedos y secos con cierta frecuencia, este caso cada dos años (Figura 91).

Figura 91

Construcción de viviendas en el interior de una laguna en áreas periurbanas de la ciudad de Corrientes. Año 2016



Fuente: Google Earth. 27° 27' 35" S y 58° 40' 24" O

En síntesis y como se había planteado en un comienzo, los estudios sobre la ecología del paisaje apuntan a conocer cuáles son los elementos que lo componen, su abundancia, distribución, tamaños, formas, pero fundamentalmente sus dinámicas naturales; que para el caso de las lagunas se relaciona con sus respuestas a las condiciones atmosféricas del momento.

A su vez, estos conocimientos son fundamentales para lograr un ordenamiento territorial, ya sea para la conservación de la naturaleza como para cuestiones que se aborden desde la planificación urbana. Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a la toma conciencia de la localización de las lagunas, de sus fluctuaciones,

del dinamismo de estos paisajes y de la repercusión social, procurando reducir al mínimo la exposición de la población.

5.2. El impacto ambiental del crecimiento espacial de la ciudad de Corrientes sobre lagunas periurbanas

Las actividades humanas son las responsables de una de las extinciones de especies más rápidas de los últimos miles de años (Wilson 1992). Esta extinción masiva ha sido provocada por cambios en el uso del suelo, la destrucción de hábitats, cambios en los ciclos biogeoquímicos e invasiones biológicas (Vilà 1998)

“Las unidades morfológicas y estructurales que componen el paisaje están relacionadas desde un punto de vista funcional, al producirse entre ellas intercambios de energía, materiales, organismos, información, etc. Evidentemente, los cambios y el dinamismo imperante en la composición estructural y morfológica del paisaje tienen su origen en la propia dinámica ecológica y está fuertemente condicionada por la actividad antrópica, especialmente en los paisajes más humanizados. La sociedad es, en muchas ocasiones, la variable ecológica dominante en la determinación de la configuración del paisaje y, en consecuencia, de las implicaciones funcionales que se generan, tanto en un momento dado como en su evolución a lo largo del tiempo” (Vila et al. 2006:156).

Las lomadas arenosas poseen un valor significativo para población, ya que sobre ellas se encuentran ubicadas las principales ciudades, rutas y actividades relacionadas con la agricultura y forestación de la provincia de Corrientes (Contreras 2011). En este sentido, la demanda que generan las actividades humanas sobre ellas, amenazan con la desaparición de las lagunas, las cuales son el principal componente paisajístico de la región; con un total de 38.926 cubetas en toda la provincia.

En estas últimas figuras evidencian la urgencia de generar políticas de crecimiento urbano intentando reducir al mínimo los posibles impactos naturales y los riesgos a los que la población de la ciudad de Corrientes se encuentra expuesta. Sin dudas las mejores condiciones naturales para el crecimiento urbano se presentan, en primer término, hacia el este, sobre la Lomada Norte, preservando sus lagunas, ya que no solo pueden constituir un elemento de realce paisajístico, sino que a su vez actúan como reservorio de agua, que de tener en cuenta su ubicación pueden reducir al mínimo los riesgos por anegamiento.

La planificación y gestión de los espacios urbanos bajo reales conceptos de sustentabilidad resguardarían los lechos, bordes de ríos, esteros, canales y humedales, debido a los innumerables bienes y servicios ambientales que ofrecen a la sociedad y para proteger a las poblaciones. Los amortiguadores ribereños cubrirían con franjas vegetales las zonas de interfase entre las áreas cubiertas temporal o permanentemente por los cursos de agua y los terrenos emergidos que los rodean y se impediría la ocupación urbana sobre ellas en forma obligatoria y definitiva. Por el contrario, estas zonas deberían ser consideradas como hábitats preferenciales para la recreación de la sociedad, protección de la naturaleza, control climático y por sobre todo, destinadas a brindar seguridad a la población frente a las amenazas naturales, tales como inundaciones y anegamientos (Vidal y Romero 2010).

Los hábitats de agua dulce, en este caso las lagunas permanentes y temporales, pueden ser centros de alta biodiversidad (Wilby y Perry 2006), por lo que modificaciones, tanto morfológicas como morfométricas de sus cubetas, pueden alterar la temperatura y calidad del agua, afectando, la supervivencia, los tiempos de desove, el éxito reproductivo y el crecimiento de los invertebrados, peces y anfibios de agua dulce.

Así como la compilación de fotografías aéreas del año 1950 (Figura 83: Pp. 140) muestra la situación de la ciudad y sus áreas aledañas; los límites del ejido urbano se encontraban donde comenzaban los espacios anegadizos de la planicie que bordea a la lomada arenosa. Por otra parte, se observa cómo la Lomada Norte se encontraba ocupada casi en su totalidad por la actividad agrícola que abastecía a la ciudad y un importante número de lagunas, dos de ellas de gran tamaño y que en la actualidad han desaparecido.

La ciudad avanza en los distintos frentes por medio de barrios planificados con población de clase media a través de espacios que presentan, relativamente, buenas condiciones para el asentamiento. Es por ello, que los espacios sobre la Lomada Norte, son espacios periurbanos de elevados costos y en la actualidad se ofrecen como clubes de campo; situación similar al del *turismo residencial* descripto en España, cuyo objetivo no es traer turistas y ofertarles servicios, sino la de producir suelo urbano, construir viviendas y venderlas. El proceso turístico residencial consta de cuatro operaciones: 1) la compra de tierra, 2) su transformación en suelo urbano, 3) la construcción de viviendas y urbanizaciones y 4) la venta de las mismas (Aledo *et al.* 1996). El uso de estas residencias puede ser para fines de semana, períodos vacacionales o como residencia semipermanente o permanente (Aledo *et al.* 2007).

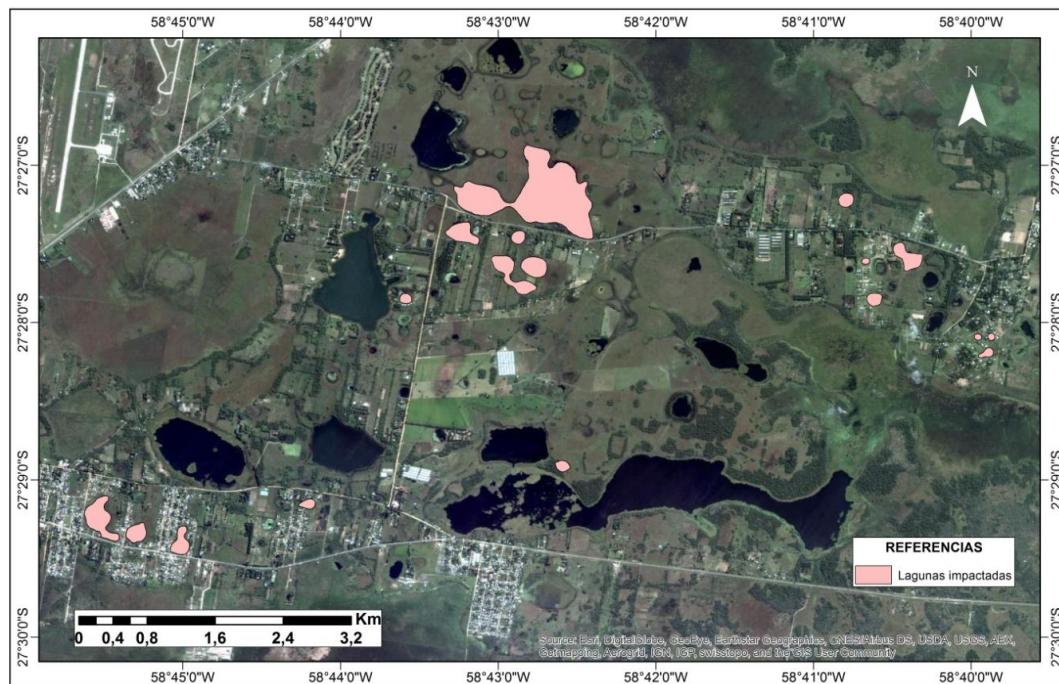
Lamentablemente, las actuaciones urbanísticas del turismo residencial conllevan fuertes transformaciones del territorio, afecciones al paisaje y a los ecosistemas locales, elevados consumos de recursos naturales, etc. (Domínguez, en prensa). Es por ello que el paisaje de lagunas se encuentre amenazado por la expansión urbana, ya que si bien sobre ella existen grandes lagunas, una de las cuales es utilizada como espacio de recreación o, en otros casos, como atractivo paisajístico de los clubes de campo; también existe un gran número de pequeñas cubetas someras con limitada capacidad de retención de agua durante las precipitaciones, que se secan en períodos de sequía, dejando espacios libres de vegetación. Es justamente sobre estos lugares que la población se instala.

Según (Aledo 1999), la expansión del urbanismo y, en concreto, del turismo residencial es un potente motor del proceso de artificialización del suelo que impulsa la expansión de la desertificación.

En la figura 92 se muestran las 18 lagunas que han sufrido algún tipo de impacto desde el año 2002 al 2014. Este número no es menor, ya que si consideramos que el Departamento Capital posee 114 lagunas, que sumadas las 33 que han desaparecido entre 1950 – 2012, nos da un total de 147, de las cuales 51 lagunas (35%) han sufrido algún tipo de impactos y 34 (23%) ha desaparecido como resultado del crecimiento espacial de la ciudad de Corrientes.

Figura 92

Detección de lagunas impactadas por el crecimiento espacial de la ciudad de Corrientes entre los años 2002 y 2014

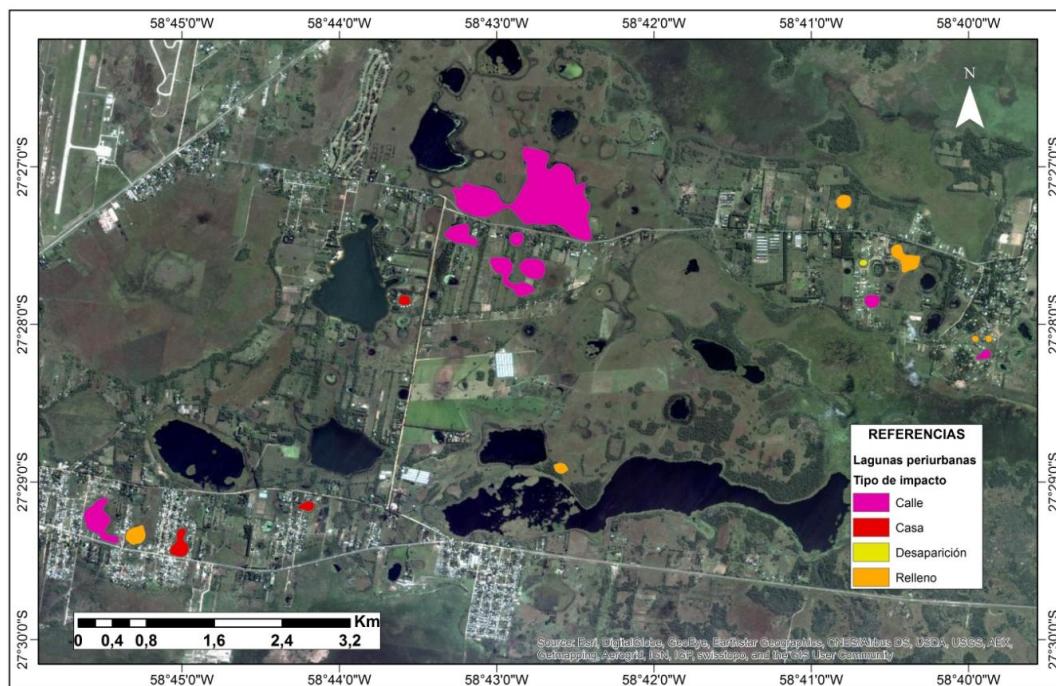


Fuente: Elaboración personal

En cuanto a los tipos de impactos, se han detectado cuatro: construcción de calles, construcción de casas, relleno parcial de la cubeta y desaparición de la laguna. En algunos casos, cuando la laguna es de gran porte, pueden observarse impactos combinados (Figura 93).

Figura 93

Clasificación de las lagunas periurbanas de la ciudad de Corrientes según el tipo de impacto antrópico observado entre los años 2002 y 2014



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y World Imagery

La figura 93 muestra la ubicación de las lagunas según el tipo de impacto que han sufrido. A simple vista es evidente que el mayor impacto detectado es la construcción de calles dentro de la cubeta. En síntesis se pueden distinguir tres situaciones:

Primer sector: comprenden a las lagunas que se encuentran ubicadas sobre el límite oriental del ejido urbano de la ciudad. Este sector presenta como principal impacto la construcción de casas sobre las cubetas, situación que no resulta extraña frente a los antecedentes de ocupación ya mencionados. Por otra parte, como se observa en la figura 96, las lagunas presentan construcciones de casas y trazados de calles.

Segundo sector: Se encuentra ubicado en el centro de la figura. En este sector, el impacto prácticamente se debe al trazado de calles. Justamente es el lugar donde se concentran los “clubes de campo”, que en definitiva son barrios privados. La ausencia de otro tipo de impactos está relacionada a que las lagunas actúan como elemento de realce paisajístico con lo cual se las “preserva”. La figura 94 muestra dos barrios alargados, un claro ejemplo de ello.

Figura 94

Construcción de calles y viviendas sobre lagunas periurbanas de la ciudad de Corrientes. Comparación de imágenes años 2003 (superior) y 2016 (inferior)



Fuente: Google Earth. $27^{\circ} 27' 45''$ S y $58^{\circ} 42' 55''$ O

Tercer sector: Al igual que el primer sector, se observa una diversidad de impactos y esta situación se debe a dos motivos. Por un lado la presencia de barrios privados y por el otro a que este sector constituye el área periurbana de la localidad de Santa Ana (San Cosme, Corrientes), que actúa como ciudad dormitorio de Corrientes y en los últimos

años ha crecido ininterrumpidamente. Un ejemplo de ello es la figura 95, que muestra la construcción de casas sobre cubetas de lagunas semipermanentes.

Figura 95

Construcción de Viviendas sobre cubetas semipermanentes. (San Ana de los Guácaras, San Cosme)



Fuente: Base de datos personal. Año 2014

Claramente estas lagunas se encuentran expuestas a sufrir alteraciones o bien a desaparecer en el afán de ocupar nuevos espacios con fines urbanísticos. El hecho de que sean poco profundas y que sus aguas dependan exclusivamente de las precipitaciones locales las vuelve vulnerables en pocos lapsos de tiempo. En este punto la Geografía supone un rol clave en la organización del espacio y en la participación de políticas de ordenamiento territorial, ya que si bien, por un lado, estos cuerpos de agua someros son susceptibles a los impactos antrópicos, por el otro, la construcción de casas y calles sobre estas cubetas, pone en riesgo a la población que se instala en ellas como se muestra en la figura 96.

Figura 96

Consecuencias de la construcción de calles sobre cubetas de lagunas semipermanentes. Santa Ana de los Guácaras (San Cosme, Corrientes)



Fuente: Base de datos personal. Año 2014

Las funciones y servicios ambientales de estos cuerpos de agua deberían ser inmediatamente más relevantes que sus significados estéticos. En este punto se destacan el servir como áreas de infiltración profunda y almacenamiento de las aguas de lluvia, y consecuentemente, de control del escurrimiento superficial y de las inundaciones (Vidal y Romero 2010).

5.3. El impacto de la actividad forestal sobre el paisaje de lagunas de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes.

El crecimiento espacial de las ciudades no es el único impacto que el hombre genera sobre las lagunas. En la actualidad, es la forestación de pinos y eucaliptus la actividad económica de mayor desarrollo espacial sobre las lomadas arenosas y que en los últimos años se ha expandido considerablemente sobre este paisaje.

Ruiz Díaz y Zimmermann (2008), mencionan que en la provincia de Corrientes, uno de los sectores que mayor crecimiento tuvo en estos últimos años es el forestal, y con ello va implícito el sector foresto-industrial. Según los autores, para el año 2008 existían 87 aserraderos en comparación con los 40 existentes en 1995, siendo, dentro de nuestra área de estudio, Concepción el departamento con mayor crecimiento.

Según la Subsecretaría de Desarrollo Foresto Industrial perteneciente al Ministerio de Agroindustria Corrientes sería, con casi 450 mil ha, la provincia con mayor superficie de bosques implantados, de las cuales el 76% corresponde a *Pinus sp.* y el restante 24% a *Eucalyptus sp.* (Tabla 15), representando el 1,4% del total de la superficie provincial. Se estima que para el año 2016, la producción de madera en Corrientes aumentará significativamente.

Tabla 15. Evolución de la actividad forestal de *Eucalyptus sp.* y *Pinus sp.* en la provincia de Corrientes. Años 2008 y 2014

Año	Especie	
	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Pinus sp.</i>
2008	122.440,84	294.649,96
2014	121.857,80	345.965,05

Fuente: Elizondo (2015)

Si bien son los departamentos ubicados sobre la margen del río Uruguay los que poseen las mayores extensiones de esta actividad, en los últimos años ha avanzando el desarrollo de la misma sobre el paisaje de lomadas arenosas.

Como se puede observar en la tabla 16, en términos absolutos, la forestación de *Eucalyptus sp.* y *Pinus sp.* posee valores sumamente significativos, principalmente en el departamento Concepción.

El caso del departamento Ituzaingó resultaría ser una excepción, ya que el mayor desarrollo de esta actividad es llevada a cabo fuera del paisaje de lomadas arenosas, sin embargo, en Contreras y Ojeda (2016); ya se destacan los impactos a nivel de cobertura de suelo de la actividad forestal sobre las lagunas.

Sin bien hasta el momento no se poseen conocimientos acerca del impacto ambiental que genera la forestación sobre las características del agua de cada laguna, mediante la observación de imágenes satelitales se pudo constatar que esta actividad se practica hasta los bordes de las cubetas y muchas veces por encima de las áreas de interconexión entre las lagunas o bien sobre lagunas muy someras.

Tabla 16. Superficies absolutas de la actividad forestal de *Eucalyptus* sp. y *Pinus* sp. En departamentos con lomadas arenosas de la provincia de Corrientes. Año 2014

Departamentos	Superficie (Km ²)	Superficie de Lomadas (Km ²)	Superficie de Lag. (km ²)	Superficie de Fores. (Km ²)
Bella Vista	1.896	569	98	6,8
Berón de A.	817	18	3	2
Capital	536	44	5	0,8
Concepción	5.134	2.595	490	391
Esquina	3.848	1.328	244	87
General Paz	2.570	428	125	23
Goya	4.844	2.332	479	65
Itatí	811	125	34	1,4
Ituzaingó	9.524	487	94	816
Lavalle	1.518	815	144	29
Mburucuyá	995	344	73	28
Saladas	1.890	411	89	57
San Cosme	602	179	36	11,8
San Luis del P.	2.611	24	3	12
San Miguel	2.911	858	224	217
San Roque	2.476	1.428	280	98
Total	42.983	11.985	2.421	1.846

Fuente: Información forestal (Elizondo, 2015)

En términos relativos, la cobertura de la forestación se destaca significativamente, en los departamentos con mayor desarrollo de esta actividad en los últimos años, como son los casos de Concepción, San Miguel y Saladas, representando el 15,1; 25,3 y 13,9% del paisaje de lomadas arenosas (Tabla 17). Excluyendo de este análisis a los Ituzaingo, San Luis del Palmar y Berón de Astrada cuya actividad se práctica fuera de nuestro objeto de estudio de interés.

De continuar aumentando las superficies forestadas, sin dudas pondrán en riesgo la heterogeneidad de elementos que componen el paisaje de las lomadas arenosas, ya que en la actualidad la sumatoria entre las superficies de las lagunas y forestadas representan entre un 20 y 40%. En otras palabras, el restante 60 y 80% del paisaje se repartiría entre los bosques nativos, pastizales, áreas urbanas y rurales, rutas, caminos y la actividad agrícola ganadero.

Tabla 17. Superficie relativas de la actividad forestal de *Eucalyptus* sp. y *Pinus* sp. en departamentos con lomadas arenosas de la provincia de Corrientes. Año 2014

Departamentos	Departamento (%)	Paisaje de lomadas (%)	Lagunas/Forestación* (%)
Bella Vista	0,4	1,2	18,4
Berón de Astrada	0,2	11,1	28,9
Capital	0,1	1,8	13,4
Concepción	7,6	15,1	34,0
Esquina	2,3	6,6	24,9
General Paz	0,9	5,4	34,6
Goya	1,3	2,8	23,3
Itatí	0,2	1,1	28,7
Ituzaingó	8,6	167,6	186,9
Lavalle	1,9	3,6	21,2
Mburucuyá	2,8	8,1	29,4
Saladas	3,0	13,9	35,5
San Cosme	2,0	6,6	26,5
San Luis del P.	0,5	50,0	62,2
San Miguel	7,5	25,3	51,4
San Roque	4,0	6,9	26,5
Media	2,7	20,4	40,4

* Lagunas/Forestación representa el porcentaje de la sumatoria de ambos elementos del paisaje

Fuente: Elaboración propia a partir de Elizondo, (2015)

“La introducción de grupos funcionales²⁰ de mayor tasa de crecimiento relativo y tamaño que las especies nativas puede aumentar la productividad primaria de un ecosistema y como consecuencia reducir el agua de escorrentía y el caudal de los ríos” (Vilà 1998: 111). Le Maitre *et al.* (1996) mencionan el ejemplo de la introducción y posterior invasión de *Pinus radiata* (Pinaceae) que conllevó un aumento de la evapotranspiración en el ecosistema de ciudad del Cabo de Buena Esperanza (Sudáfrica). De allí que la desaparición de lagunas no está dada únicamente por la implantación de pinos y eucaliptus sobre ellas, sino a las pérdidas de las capacidades de captación y retención de agua por parte de las lagunas, y a la presión hídrica que generan grandes extensiones de forestación hasta los bordes de las cubetas mediante la reducción del área de captación, disminución del escurrimiento superficial hacia la laguna y las altas tasas de evapotranspiración que se generan alrededor de ella (Figura 97).

²⁰ Un grupo funcional sería un grupo de especies que juegan el mismo papel en mantener y regular los procesos del ecosistema (Vilà, 1998).

Figura 97

Fotografía aérea de la actividad forestal alrededor una laguna circular. (Concepción, Corrientes)



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey. Año 2014

Para Hofstede (2001) existe bastante evidencia de que la forestación masiva perjudica el ecosistema, no sólo por la extracción de especies nativas para la implantación de especies, sino que además son los efectos durante el crecimiento de la plantación, especialmente en especies como el pino (*Pinus sp.*), que consumen mucha agua, disminuyen el rendimiento hídrico y finalmente secan el suelo, razón por la cual hay mayor descomposición y posiblemente pérdida de fertilidad.

En este sentido, el impacto que genera la forestación no solo involucra a las lagunas, sino al paisaje en general. Como se ha destacado, se precisan grandes extensiones de tierra para poder desarrollar esta actividad y esto implica extraer especies nativas y muy representativas del paisaje. Un claro ejemplo de ello fue observado en la localidad de Colonia Pando (San Roque, Corrientes), donde la actividad forestal ha llevado a talar más de 60 Ha de *Butia yatay*, una palmera que en la provincia solo se encuentra en ciertos sectores del paisaje de lomadas arenosas como se puede ver en la figura 98.

Figura 98

Impacto ambiental de la forestación sobre palmares de lomadas arenosas (Colonia Pando, San Roque). Años 2007 y 2012



Fuente: Google Earth. 28° 31' 35" S y 58° 28' 20" O

Sin embargo, como las lagunas son depresiones naturales, se las suele utilizar como vertederos naturales de los residuos que genera la forestación, tanto para su implantación y el depósito de los troncos de las palmeras taladas como se observa en la figura 99, como también de las actividades industriales y el depósito de aserrín como se ve en la figura 100.

Figura 99

Acumulación de troncos de *Butia Yatay* en la cubeta de una laguna. Colonia Pando (San Roque, Corrientes). Año 2012.



Fuente: Google Earth. 28° 31' 35" S y 58° 28' 20" O

La plantación de especies exóticas es una actividad que puede ser de mucho beneficio tanto para la industria maderera como para las comunidades rurales. Sin embargo, como todo cultivo monoespecífico, tiene fuerte impacto sobre el ecosistema (Hofstede 2001).

En síntesis se puede decir que el principal problema de la actividad forestal es su carácter extensivo y su repercusión sobre el paisaje de lomadas arenosas en sus impactos directos sobre las lagunas, principalmente las más someras y temporales. No obstante, esta situación se agrava, debido a que existen políticas para fomentar esta actividad, sin tener la capacidad de industrializar el volumen de madera generado. Con lo cual, se impacta de manera drástica sobre este paisaje, debido a la especulación que genera la posible llegada de una próspera industria forestal, que hasta el año 2015 seguía en vilo. Cito a continuación el último párrafo del *Inventario Forestal 2015*.

“La Mesopotamia como región y en particular la provincia de Corrientes, debería encarar seriamente la necesidad de generar las condiciones para radicar un proyecto celulósico-papelero que le de salida al volumen de madera que se acumula y dar un nuevo impulso a las plantaciones, traccionando el interés en forestar a

través de la demanda de madera para uso industrial, el desarrollo de la actividad forestal primaria, más que un desafío es una imperiosa necesidad". (Elizondo 2015:97).

Figura 100.

Impacto de un aserradero que arroja aserrín en una laguna del departamento Saladas (Corrientes). Años 2003 y 2013



Fuente: Google Earth. 28° 16' 13" S y 58° 39' 44" O

Capítulo 4

Contribuciones al conocimiento del origen de las lagunas

6.1. Sobre el origen de los lagos y las lagunas

En relación al origen de los lagos, Hutchinson (1957), reconoció 76 tipos posibles que, como destaca Margalef (1983: 31), presenta problemas propios de toda clasificación, al existir lagos que deben su origen a la combinación de causas y procesos que, en otros lagos, actúan separadamente.

En la bibliografía tradicional predomina la información acerca del origen de los lagos, mientras que resulta escasa la información acerca de la génesis de los lagos someros o lagunas. En este sentido, Margalef (1983:667), considera que “*el origen de los lagos determina alguna de sus propiedades generales, ya sea en su morfometría como también en las características fisicoquímicas de sus aguas; de allí la importancia de tener conocimiento sobre el mismo*”.

Los autores que hacen referencia al origen de estos cuerpos de agua léticos, como ser Hutchinson (1957), Margalef (1983) y Esteves (1998), mencionan que los mismos serían el resultado de diferentes tipos de procesos: tectónicos, volcánicos, glaciares, de disolución, erosión, procesos fluviales y actividades eólicas.

Hutchinson (1957) clasifica el origen de los lagos según procesos endógenos y exógenos, siendo los lagos tectónicos y volcánicos los principales ejemplos de los primeros y los restantes, del segundo caso. Margalef (1983), los clasifica en lagos originados por actividad del agua y originados independientemente de la actividad del agua. Sin embargo, ambas clasificaciones agrupan a los mismos orígenes dentro de dichas clasificaciones, ya que los procesos endógenos de Hutchinson (1975) serían los lagos originados por actividades independientes del agua de Margalef (1983) y los exógenos del primero, se corresponden con los dependientes del agua del segundo.

Los lagos tectónicos se forman por ascenso y descenso de la superficie terrestre (movimientos epirogénicos), aislando grandes masas de agua generalmente de poca profundidad, siendo los mares Caspio y Aral ejemplos de ellos.

Para Nunes Da Silva Meneses (2006), los lagos formados a partir de fallas son los más antiguos de la superficie terrestre, ya que se originaron en el Terciario y se ubican en

las llamadas fosas tectónicas (rift valley), presentando grandes profundidades, como es el caso del lago Baikal (Rusia) de 1.636 m de profundidad, considerado el lago más profundo del mundo o el Tanganika en África.

Según Margalef (1983:32) “*los lagos volcánicos ocupan antiguas calderas o cráteres que, al poseer una cuenca de recepción minúscula, influye sobre la tasa de renovación del agua. Si existen materiales volcánicos en contacto con el agua, son de esperar elevadas concentraciones de Si, K, P y metales, todo ello en función de la composición química de las lavas locales. Si la actividad volcánica se encuentra activa, puede haber disolución de gases que perturban el ciclo biológico.*” También destaca que las coladas de lava pueden generar embalses.

Dentro de la clasificación de lagos originados independientemente de la actividad del agua, se encuentran los lagos formados por el viento llamados cubetas de deflación. Ejemplos de estos cuerpos de agua son las lagunas de Doñana (España), las Landas Francesas, los *pans* de Sudáfrica e incluso Margalef (1983) hace mención a las encontradas en el valle del Paraná Medio, mostrando una fotografía de nuestra área de estudio.

Por otra parte, los lagos resultados de procesos exógenos o por actividad del agua, según Nunes Da Silva Meneses (2006), representan a la mayoría de los lagos ubicados sobre la superficie terrestre, destacándose aquellos los lagos glaciares formados durante la última glaciación pleistocénica, hace aproximadamente 13 – 18.000 años.

Los lagos glaciares se ubican en altas latitudes y altitudes, principalmente en el hemisferio Norte. Estos pueden clasificarse según su ubicación por ejemplo, según Margalef, (1983), en lagos de circos, los cuales pueden elevar el nivel del agua por la presencia de morrenas, formando pequeños embalses. Para el autor son considerados como poco profundos, ya que por lo general no superan los 100 m de profundidad.

Este último dato no es menor, ya que establece las grandes diferencias entre la bibliografía tradicional referida a grandes lagos, con la situación de las lagunas estudiadas en esta investigación, siendo que estas últimas poseen una profundidad promedio de 4 m, alcanzando los 10 m, según conversaciones personales con lugareños. Es por este motivo que es conveniente establecer con cautela comparaciones de las dinámicas geomorfológicas entre los lagos y las lagunas.

Otro de los lagos glaciares mencionados por Margalef (1983), son aquellos que se disponen a modo de rosario a lo largo del valle glaciar, ocupando sucesivos escalones, cada uno cerrado por una saliente rocosa. También se destacan los amplios valles excavados por los glaciares que divergen radialmente de un macizo montañoso y que han quedado ocupados por lagos, cuando el valle tiene una morrena terminal, a modo de presa o embalse.

Otro proceso de formación de lagos se da en los paisajes kársticos, debido a la disolución de calizas y yeso. El sulfato cálcico es más soluble, pero al hidratarse cierra las grietas y dificulta la ulterior disolución, mientras que la disolución de la caliza mantiene abierta las vías y continúa con mayor facilidad (Margalef 1983). Sus variaciones de nivel pueden conferirles un carácter intermitente o bien pequeñas cubetas permanentes pueden unirse entre sí con el aumento del nivel de agua. Para el autor, el lago kárstico consiste en una dolina, que se forma en un hundimiento encima de algún sistema de circulación horizontal. Además, este autor destaca que el nivel del lago puede encontrarse por debajo del nivel del suelo, pero que el aumento del primero, puede unir a varias cubetas en una sola. Estos lagos pueden alcanzar profundidades de 5 a 8 m y rara vez pueden llegar a 60 m.

Por otra parte, los meandros y trenzas de un río de poca pendiente que discurre sobre un amplio lecho de inundación, evolucionan hasta convertirse en lagunas más o menos independientes, siempre de poca profundidad y con flujo horizontal de agua que las alimenta a través de sedimentos porosos, lo que constituye un factor determinante de sus características biológicas

6.2. Las lagunas de la región de lomadas arenosas. Consideraciones sobre su origen

A partir de una revisión del estado del conocimiento, se rescatan las escasas interpretaciones existentes acerca del origen de las lagunas de lomadas arenosas en la provincia de Corrientes.

En esta línea, Popolizio (1984) señala que las mismas corresponderían, en una etapa inicial, a formas de pseudodolinas, depresiones aisladas de forma circular isodiamétricas. En períodos de precipitaciones abundantes, éstas aumentarían el volumen de agua de la cubeta, interconectando numerosas lagunas y dando lugar a nuevas

formas. Desde otra perspectiva, se considera que las lagunas son *cubetas de deflación*, como las observadas en la llanura chaco-pampeana por Iriondo (2012) y Margalef (1983), cuando las menciona como ejemplos de lagunas formadas por acción del viento.

En relación con el dinamismo geomorfológico que ocurre dentro de las lomadas arenosas, Popolizio (1984) propuso que las lagunas se formarían como consecuencia de un proceso de degradación paulatina que, en el tiempo, originaría la unión de dos o más seudodolinas (lagunas), denominando a la morfología resultante como seudoúvalas, dada su semejanza con las úvalas en los modelados kársticos. Sin embargo, no tuvo en cuenta la pendiente del relieve, que si bien a simple vista se percibe como muy escasa o débil por tratarse de una llanura, en determinados sitios la diferencia de altura supera los 10 metros en una distancia corta.

En relación con este tema, Iriondo (2007) señala que las dunas son especialmente sensibles a la erosión pluvial. Las gotas de lluvia, al golpear sobre la arena suelta, dispersarían los granos, que corren pendiente abajo sobre la superficie de la duna. En consecuencia, la superficie del campo de dunas se aplanaría por la acción de lluvias sucesivas, hasta eventualmente reducirlo a un plano horizontal (*disipación de las dunas*). Este proceso ocurre cuando tiene lugar un cambio climático y una región desértica pasa a un régimen más húmedo. En épocas de lluvias intensas, los granos de arena podrían ser arrastrados a lo largo de la pendiente transformando las líneas preferenciales de escurrimiento en canales que unen los cuerpos de agua y que, si continúan ensanchándose, conformarían una laguna mayor. En tiempos de sequía, los canales podrían secarse y ser rellenados, cerrando la vía de escurrimiento temporalmente.

6.3. Discusiones acerca del uso del término Pseudokarst

En la actualidad existe cierta resistencia al uso del término pseudokarst para hacer mención a paisajes similares a los kársticos en cuanto a sus formas, pero que nada tienen que ver con los procesos que le dieron origen. Se entiende que el karst se refiere a procesos de erosión asociados con la disolución de materiales calcáreos o fuera de las calizas; por ejemplo con la sal y el yeso, ya que se ejerce una fuerte disolución (Derrau 1966).

Sin embargo, si bien es cierto que la morfogénesis es un criterio fundamental para la clasificación de los accidentes geográficos, se debe reconocer que existen morfologías

similares cuyos procesos geomorfológicos difieren considerablemente; con lo cual los enfoques empleados para explicar una morfología y clasificación del relieve basados únicamente en la génesis, resultan muy poco satisfactorios para dilucidar la historia de los paisajes, objetivo fundamental de la geomorfología (Eberhard y Sharples 2013).

El término pseudokarst se encuentra muy asociado a las cavernas de origen no kárstico alrededor del mundo. Por ejemplo, según Aubrecht *et al.* (2011), los tepuyes venezolanos (Tepuy) albergan algunas de las cuevas sin carbonatos más grandes del mundo. Para el autor, las cuevas son comunes en terrenos calizos y los fenómenos kársticos pueden evolucionar con facilidad en piedra caliza u otros materiales de roca con una mejor solubilidad, por ejemplo, yeso o sal; mientras que todas las formas similares a las kársticas, que se desarrollaran en ambientes que no son carbonatos, se les atribuyeron inicialmente al pseudokarst.

El pseudokarst representa un problema sustancial debido a la variedad de interpretaciones y diversidad de opiniones que se posicionan en el origen de las formas superficiales (Vitek 1983).

Aubrecht *et al.* (2011) mencionan que la solubilidad de las rocas de silicato es, generalmente, muy baja y las cuevas que se formaron en estas rocas se atribuyen a menudo al pseudokarst, ya que la disolución desempeña el papel principal en la mayoría de los procesos que les dieron origen. Sin embargo, dicho autor menciona que en varios trabajos se aplica el término karst en cuevas de silicato, ya sea en granitos (Willems *et al.*, 2002, Vidal Romaní y Vaquero Rodrigues, 2007) o, más frecuentemente, en las areniscas (Wray, 1999).

Por otra parte, Martini (1979) propuso el término "arenization" para hacer referencia a la meteorización de silicatos. Este término implica tanto, la disolución de los cementos en las areniscas, la posterior erosión y la pérdida de materiales de arena sueltos. Más adelante, Doerr (1999), llegó a la conclusión que la disolución no afecta selectivamente a los cementos, sino a toda la roca, optando por emplear el término "corrosión" en lugar de "arenización", mientras que Aubrecht *et al.* (2011) concluye que la formación de cavernas en areniscas está más asociado a la erosión que a la disolución, aunque no descarta la existencia de esta última.

En la actualidad, el empleo del término pseudokarst no se encontraría expuesto a críticas, sin embargo se han encontrado artículos recientes que hablan del problema presente de su uso.

Eberhard y Sharples (2013) mencionan que a pesar de la aceptación casi universal de una definición morfogenética del karst, se observa una tendencia a aplicar criterios basados en la morfología para dar cabida a la discusión de los diversos fenómenos no kárstico (Grimes 1975; Vitek 1987; Halliday 2004, 2007) y se refieren, como ellos destacan, al “término problemático Pseudokarst”.

Los aspectos de este término se discuten en varios trabajos y algunas críticas se han hecho con anterioridad. Otros (1976) argumentó que la morfología por sí sola no era una base adecuada para la designación de 'Pseudokarst', y recomendó que el término solo deba aplicarse en el caso “piping”²¹ y las formas “termokarst”. Este último término se ha utilizado con referencia a las cavidades en los glaciares y depresiones debido al derretimiento del hielo en el permafrost del suelo; aunque no siempre se lo utiliza, de manera explícita, como una clase de “Pseudokarst”.

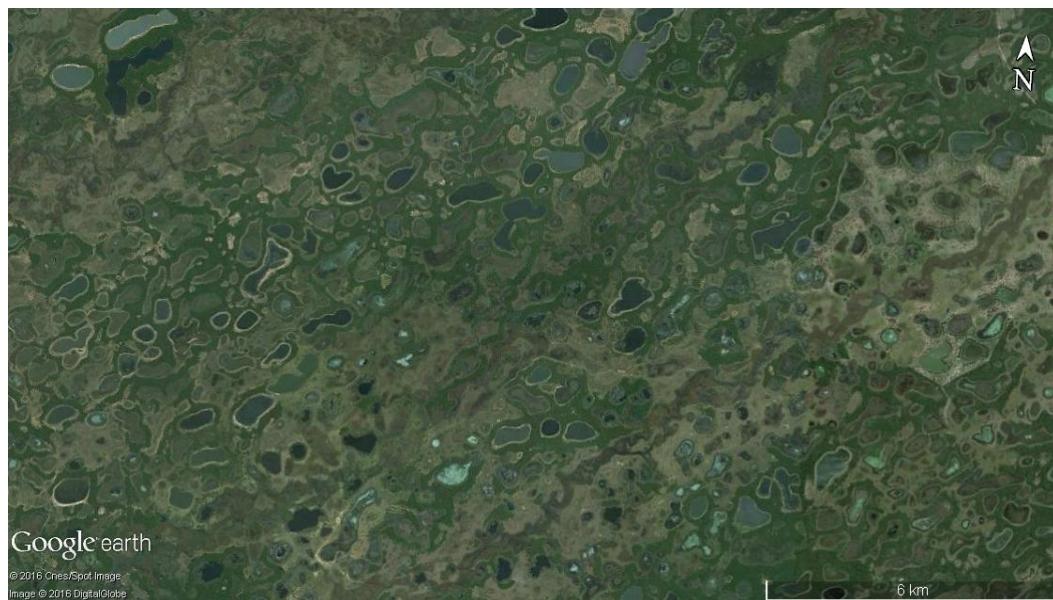
6.4. Semejanzas entre la región de lomadas arenosas (Corrientes, Argentina) y Nhecolândia (Mato Grosso do Sul, Brasil).

La región de Nhecolândia, es una subregión del Pantanal Mato-grossense con aproximadamente 23.574 km², presentando, como característica peculiar, una alta densidad de lagunas siendo las *cordilheiras*, la unidad de paisaje que las contiene (Cunha 1943 y Soares da Silva y Sakamoto 2009). Para estos últimos autores, los sistemas lacustres son de gran importancia en la composición paisajística de la región, ya que les otorga numerosas configuraciones y distintos funcionamientos, con una dinámica de interrelación peculiar responsable de la delimitación de este geosistema (Figuras 101 y 102).

²¹ La erosión en túnel o piping está relacionado con flujos subsuperficiales concentrados que pueden originarse al introducirse el agua a través de grietas de desecación o pequeñas fracturas de las rocas. Si bien es posible encontrarlas en numerosas regiones del mundo, tienen una gran presencia en ambientes semiáridos (Bryan y Jones, 1997).

Figura 101

Lagunas de la región de Nhecolândia (Pantanal Mato-grossense, Brasil). Año 2013



Fuente: Google Earth. 19° 15' 47" S y 56° 32' 29" O

Figura 102

Fotografía de una laguna de la Región de Nhecolândia (Pantanal Mato-grossense, Brasil)



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/35649960?source=wapi&referrer=kh.google.com> Vista el 03/03/2016

Resende (1989), distingue tres unidades de paisajes en la región: los cordones arenosos llamados *cordilheiras*, los *vazantes* (superficies cóncavas) y *baías* (lagunas). Para el autor, el término *baías* es designado a las lagunas según su composición iónica más diluida, ligeramente ácida o ligeramente alcalina; y “*salinas*”, a las lagunas de composición iónica más concentrada, siendo éstas alcalinas. La salinidad estaría dada por el contacto de las lagunas con las napas o bien en períodos secos cuando los niveles de agua disminuyen aumentando las concentraciones de sales y en consecuencia el pH. Por el contrario, en períodos húmedos las concentraciones de sales disminuyen, disminuyendo también los valores de pH.

En relación al origen de las lagunas, se encuentra que los procesos pseudokársticos, la deflación y paleoescurrimientos explicarían el origen de estos cuerpos de agua del Pantanal Brasílico. Sin embargo, la información para las lomadas arenosas del mega abanico aluvial del río Paraná es todavía escasa.

Silva, Dos Santos y Abdon (1998), hacen mención a la presencia de numerosos lagos en el Pantanal Nhecolândia, cuya génesis y comportamiento no son bien conocidos.

Eiten (1983) adoptó un enfoque diferente y atribuye la génesis de los lagos a un sistema kárstico o pseudokárstico. En todos estos estudios, la presencia de sales se atribuye a las fases áridas, en las alternancias húmedas y secas, durante el Pleistoceno (Ab'Saber 1988). Por su parte, Klammer (1982) llegó a proponer el término “paleodesert” para explicar la presencia de lagos salados terminales. Sin embargo, la suposición de la existencia de un antiguo clima árido durante el Pleistoceno tardío no ha sido confirmada por los datos palinológicos obtenidos en el Pantanal y sus alrededores (Colinvaux *et al.* 2000). Varios estudios en la vecina región central de Brasil han sugerido un paleoclima más frío y húmedo durante la glaciación entre 40.000 y 27.000 años. Por lo tanto, incluso las condiciones climáticas que podrían haber favorecido este tipo de génesis son cuestionadas.

Almeida *et al.* (2006) señalan que a partir del trabajo de Almeida (1945), muchos autores han aceptado la posibilidad de un origen eólico para las arenas de la región Nhecolândia. El autor planteó esta hipótesis debido a la presencia de arenas blancas, bimodales, con una granulometría de fina a media y la detección de una barrera arenosa interrumpiendo un canal fluvial, interpretado como una posible duna eólica. Según Assine (2003), otros autores han ampliado esta interpretación, considerando que las elevaciones de hasta 4 metros, las cordilleras, que son muy comunes en toda el área de Nhecolândia,

serían la expresión morfológica de antiguas dunas y lagunas que tienen su origen en deflaciones locales. Sin embargo Soares *et al.* (2003) destacan que no han encontrado evidencia de campos de dunas tanto en el terreno como en imágenes satelitales. Al contrario, indican la presencia frecuente de lagunas organizadas en rosario, características típicas de restos de antiguos canales.

Barbiero *et al.* (2008) reconocen también que la génesis de las lagunas de Nhecolândia se encuentra bajo debate; haciendo mención a que una de las hipótesis acerca del origen de estos cuerpos de agua se encuentra asociada a la existencia de antiguos escurrimientos y que sus formas circulares se deben a procesos de “redondeamiento” de meandros abandonados.

Este proceso de “redondeamiento” ha sido estudiado en las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio y fue denominado como “the roundness process” o dinámica de “terrestrialization” por Paire y Drago (2007). Dicha expresión es utilizada 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.

Otra hipótesis sugiere la acción de deflación eólica en combinación con altas concentraciones de sal en el suelo (Almeida y Lima 1956) y acumulación de partículas de arena en tipos de dunas *Sebkha* (Tricart 1982). Klammer (1982) reconoce que tal fenómeno ocurre sólo en una porción de la región de Nhecolândia, ya que en algunas áreas se observan paleodunas sin acompañamiento de lagunas. El actuar del viento, según Almeida (1945) explicaría la gran distribución de arenas en Nhecolândia. Soares *et al* (2003) y Assine y Soares (2004) hicieron hincapié en que el tamaño de la arena es muy selectivo, pero tanto el tamaño y las características eólicas podrían haber sido heredadas de la zona de origen de los sedimentos.

Furquim (2010) menciona que diferentes hipótesis han sido dirigidas a explicar el origen de estos accidentes geográficos en Nhecolândia y el tema sigue siendo una cuestión de debate. Un conjunto de explicaciones invoca procesos eólicos que se producen en la última fase árida (Pleistoceno tardío), como responsable de la formación de dunas y lagos. En este punto de vista, las lomadas de arena se ven como paleodunas longitudinales (Klammer 1982) y el agua dulce y/o salinas son depresiones de deflación eólica (Almeida y Lima 1956; Tricart (1982), Soares *et al.* (2003); Assine y Soares (2004). Las lagunas saladas fueron definidas específicamente por Tricart (1982) como *sebkhas*

viejas, donde la deflación eólica fue facilitada debido a la agregación de las partículas finas de sales acumuladas en la superficie del suelo.

Otra hipótesis atribuye el origen de las lagunas a cambios en los cursos de los ríos producidos durante y después de un clima más húmedo en la glaciación del Holoceno temprano. En este contexto, las lagunas serían depresiones inundadas localizadas dentro de los meandros o que han quedado aisladas. Entonces, la distinción entre las lagunas de agua dulce y agua salada dependería de la entrada recurrente de agua dulce en las inundaciones estacionales (Wilhelmy 1958; Ab'Saber 1988).

Por último, Eiten (1983) proporcionó una interpretación diferente, atribuyendo la génesis de las lagunas a relictos de sistemas kársticos o pseudokársticos.

Fortes *et al.* (2007:255) señalan que “*La morfología típica de la superficie de la Terraza Media²² incluye un gran número de pequeñas depresiones secas y lagos. Estas formaciones pueden ser aisladas o conectadas formando valles planos y alargados. Estas formas probablemente fueron creadas por procesos pseudokársticos controlados por fracturas, asociados con deflación eólica durante el Pleistoceno. (Stevaux 1994; Stevaux y Santos 1998)*”.

La idea expuesta por el autor ofrece una nueva hipótesis al hacer mención de procesos combinados entre procesos pseudokársticos y deflación eólica, ya que los autores anteriores siempre han optado por una u otra opción.

La comparación entre las regiones de Nhecolândia y de las lomadas arenosas (Corrientes, Argentina) no se fundamenta exclusivamente en la presencia de un gran número de lagunas cuyos orígenes son discutidos. Por el contrario, ambas regiones son mega abanicos aluviales, en otras palabras, comparten una misma génesis. Incluso se detectaron lagunas en mega abanicos aluviales en la contraparte africana y en aquellos lugares donde se depositan sedimentos provenientes del macizo cristalino de Brasil como ser el caso de Boa Vista (Roraima, Brasil) (Figuras. 103 y 104) y Porto Rico (Mato Parana, Brasil) (Figuras 105 y 106), sumado a la similitud de los rasgos paisajísticos asociados a la biogeografía.

²² Fortes et al., (2007) Hace referencia a la descripción de su área de estudio que incluye el curso inferior del río Ivinhema y 108 km aguas arriba de la desembocadura del río Paraná, en la cual se destacan tres terrazas, Alta, Media y Baja, siendo la segunda quien contiene un gran número de lagunas geomorfológicamente similares a las ubicadas sobre el mega abanico aluvial del río Paraná.

Figura 103
Lagunas de Boa Vista (Roraima, Brasil). Año 2014



Fuente: Google Earth. 03° 13' 57" S y 60° 48' 24" O

Figura 104
Fotografía de una laguna de Boa Vista (Roraima, Brasil)



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/87396248?source=wapi&referrer=kh.google.com> Vista el 03/03/2016

Figura 105
Lagunas de Porto Rico (Paraná, Brasil). Año 2014



Fuente: Google Earth. 22° 28' 30" S y 53° 15' 42" O

Figura 106
Fotografía de Porto Rico (Paraná, Brasil)



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/87396248?source=wapi&referrer=kh.google.com> Vista el 03/03/2016

En otras palabras, se puede inferir que este paisaje de lagunas se encontraría íntimamente asociado a la respuesta de los depósitos de macizos cristalinos durante los distintos períodos húmedos y secos propios de cada región.

No obstante, como se ha demostrado en el capítulo anterior, la morfología circular de las lagunas, no es exclusividad del  que le dio origen, sino por el contrario, el dinamismo natural de ellas es de extinguirse y reaparecer como cuerpos de agua circulares, lo cual sin dudas podrían estar enmascarando su morfología original. Por este motivo, en esta investigación se propone que las lagunas no poseerían un único proceso formador, sino que por el contrario, se deberían a procesos poligenéticos y a la combinación de procesos.

Es importante tener en cuenta que la región de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina) posee 38.926 lagunas  temporales y permanentes, de variadas de formas y tamaños, pero con similares dinamismos geomorfológicos.

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se propone que las lagunas de la región de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina) son poligenéticas, en otras palabras; no todas poseen un mismo origen. Se sugieren tres principales procesos de formación de lagunas:

1. Cubetas de deflación
2. Procesos pseudokársticos
3. Antiguos escurrimientos superficiales

Un ejemplo de esta situación la mencionan Totth y McCarthy (2007) para las charcas del sur de África, a las cuales describen como poligenéticas, tanto en origen como en desarrollo. Además indican que no necesariamente son de origen fluvial, atribuyendo el origen de la depresión original a, por ejemplo, la sal o la hidratación de litologías  susceptibles, excavaciones animales, la deflación eólica, procesos de deposición (por ejemplo, acumulación de agua en los huecos de interdunas eólicas o correspondientes a antiguos lagos). Por otra parte mencionan procesos tectónicos, por ejemplo, fallas, deformación a gran escala, el impacto de meteoritos, erupciones volcánicas).

Para los autores, la mayoría de las charcas cuyo origen no se relaciona con procesos fluviales, son relativamente pequeñas y una vez formadas, no se relacionan con

los principales ríos y sus aguas dependen principalmente de la escorrentía local o las aguas subterráneas.



En la actualidad son muy discutidos los procesos que dieron origen a las lagunas de las grandes planicies centrales de Argentina (Diovisalvi *et al.* 2015) y un ejemplo de ello lo destaca Quirós (2004) al mencionar que las lagunas pampeanas se deben a diferentes procesos que incluyen a la deflación eólica, que en muchos casos han sido remodeladas por la acción fluvial; por el embalsado natural del agua de escorrentía, debido a la presencia de médanos; las situadas en los puntos más bajos de la planicie y que han tenido algún contacto con el mar en épocas pasadas y que con el tiempo se fueron dulcificando y las que se han originado por la acción combinada de agentes erosivos y disolución kárstica. Es decir que ya existen antecedentes en el país acerca de procesos combinados que actúan sobre una misma región.

6.5. Origen de las lagunas como cubetas de deflación

“La masa total de materiales removidos o depositados por el viento, es inferior a la debida a la meteorización, corrientes de agua, olas y hielo, excepto en ciertas regiones desérticas especialmente favorables para su acción. En las regiones húmedas, caracterizadas por la gran humedad del suelo y por la densa cobertura vegetal, existen pocas pruebas de la actividad del viento” (Strahler, 1984:593)

Para el autor, la deflación barre las partículas sueltas que se hallan sobre la superficie del suelo y la arrastra o levanta por el aire. Actúa dondequiera que la superficie del terreno esté completamente seca y recubierta de pequeñas partículas sueltas procedentes de la meteorización de la roca o previamente depositadas por el agua. Menciona que los cursos de los ríos secos, entre otros, son muy susceptibles a la deflación.

Para Strahler, (1984) la principal forma de erosión producida por la deflación, son las cuencas de pequeña profundidad denominadas *depresiones de deflación*. Las mismas pueden tener desde unos pocos metros hasta varios kilómetros de diámetro, pero su profundidad raramente pasa de unos pocos metros. Las lluvias llenan la concavidad originando una charca o una laguna que, cuando se seca, muestra un fondo que se agrieta y da lugar a escamas y fragmentos de barro seco que son fácilmente transportados por el viento.

Ejemplos de formación de depresiones elípticas formadas por el viento son mencionados por Harper y Gilkes, (2004) en el suroeste de Australia denominadas “playas”²³ según Killigrew y Gilkes, (1974) o reciben el nombre de “lagos orientados” (Price, 1972). Cabe mencionar que dicha forma se puede interpretar como el resultado del accionar de las olas y las corrientes impulsadas por el viento (Price, 1972; Killigrew y Gilkes, 1974).

A veces se agrupan alcanzando densidades elevadas, como en el Estado de Orange Free en Sudáfrica (Figura 107), donde se reconocen más de 100 playas en una extensión de 100 Km² (Goudie y Thomas, 1985; Goudie, 1991). En las terrazas del primitivo Voltoya, al oeste de Coca (España), alcanzan densidades de 4 playas por km². Poseen una superficie variable, con áreas que varían entre 0.002 y 0.75 km², siendo las de mayor tamaño resultado de la coalescencia de dos o más depresiones cercanas (Desir *et al.* 2003).

Figura 107.

Lagunas formadas por deflación, en el estado de Orange Free (Sudáfrica). Año 2007



Fuente: Google Earth. 28° 35' 52" S y 25° 50' 39" E

La acción de las olas en los lagos tropicales puede resultar en el hundimiento y la regresión de los bordes de las depresiones (Reeves, 1966), pudiendo depositar arena,

²³ El término *playa* se emplea en medios continentales para designar depresiones cerradas desarrolladas en zonas áridas y semiáridas cuyo fondo plano y generalmente desprovisto de vegetación se inunda periódicamente, siendo frecuente la precipitación de sales por evaporación. Existen ejemplos de playas en numerosas regiones del planeta. (Desir, G. *et al.* 2003)

que posteriormente puede ser removida por la deflación (Twidale, 1972). La forma de las playas generadas a partir del viento, se han utilizado para deducir la orientación de los vientos durante los períodos donde la cubeta del cuerpo de agua se encontrase saturada de agua (Price, 1972; Killigrew y Gilkes, 1974; Marrs y Gaylord, 1982).

Según Fregenal Martínez y Meléndez (2010), si el oleaje no tiene la constancia y la magnitud suficiente o el litoral es muy plano, las evidencias sedimentarias de la actividad del oleaje quedarán restringidas al retrabajamiento *in situ* de sedimentos depositados previamente por otros procesos a los que se sobrepondrán *ripples* de oscilación (Figura 108).

Figura 108

Ripples de oscilación sobre una lomada arenosa (Concepción, Corrientes). Año 2013



Fuente: Google Earth. 28° 12' 18" S y 58° 09' 44" O

La zona pelágica o de cuenca está fuera del alcance del oleaje normal y sólo excepcionalmente en lagos y lagunas más someros, queda al alcance del oleaje de tormenta.

Tanto las características que describen a las playas como sus dinámicas, son similares y en algunos casos idénticas a las lagunas de las lomadas arenosas de Corrientes, con lo cual es oportuno considerarlas a fin de establecer comparaciones entre ambos cuerpos de agua someros.

Briere (2000) propone que el vocablo playa se emplee para depresiones intracontinentales con balance hídrico negativo que permanecen secas más del 75% del año, y que *playa-lake* se adopte como una transición entre playa y lago que designa a depresiones con agua entre el 25 y el 75% del año. Sin embargo, según Desir *et al.* (2003), estas definiciones pueden resultar ambiguas y difíciles de aplicar ya que el régimen hídrico de gran parte de las playas no está sujeto a una estricta estacionalidad, pudiendo permanecer húmedas o secas durante años. Según Tchakerian (1999a), las playas pueden ser sometidas a inundación por aguas superficiales efímeras y por fluctuaciones del nivel freático.

Las playas se desarrollan preferentemente en zonas con relieve muy poco contrastado y con una red de drenaje difusa o inexistente (Tricart, 1954b; Goudie, 1999; Desir, *et al.* 2003). En estos sistemas se refleja la interacción de las aguas superficiales y subterráneas, el transporte eólico y las reacciones químicas y biológicas (Torgerssen *et al.*, 1986). La evapotranspiración aumenta la concentración de las aguas lo que provoca la precipitación de diversas sales según su grado de saturación (Eugster y Hardie, 1978; Yechieli y Wood, 2002). Cuando el nivel freático desciende por debajo de la superficie o el agua superficial se evapora, la erosión eólica puede afectar a los sedimentos situados por encima del frente de capilaridad (Yechieli y Wood, 2002).

Existe por tanto un equilibrio dinámico entre el proceso de deflación y las fluctuaciones del nivel freático y del frente de capilaridad (Rosen, 1994). En las épocas secas la deflación eólica agranda el tamaño de las playas y provoca la acumulación de partículas a sotavento dando lugar a dunas en forma de media luna (*lunettes*) (Goudie, 1991). Sin embargo, hasta el momento no hemos podido detectar estas formas sobre los bordes de las lagunas de lomadas arenosas en Corrientes.

Diversos procesos como la meteorización de los sedimentos del fondo de las playas y la precipitación de sales favorecen la exportación de partículas por el viento. Por otra parte, en las playas se produce un drenaje centrípeto que tiende a transportar partículas de los márgenes de la depresión hacia el centro, para ser posteriormente evacuadas por el viento. De este modo, se produce la ampliación de las depresiones y cuando la distancia, entre ellas es pequeña, se pueden llegar a enlazar (Goudie y Wells, 1995). Estas agrupaciones crecen con el tiempo y pueden sobrevivir a sucesivos ciclos de erosión (Marshall y Harmse, 1992).



Cuando se produce la coalescencia, cada una de las antiguas *playas* tendrá una dinámica separada hasta que tras varios ciclos erosivos se unifique su funcionamiento como un sistema hidrológico único. Además del viento numerosos procesos pueden intervenir en la formación de las *playas* (Torgerssen *et al.*, 1986; Marshall y Harmse, 1992; Goudie y Wells, 1995; Livingstone y Warren 1996).

Los cambios climáticos e incluso antrópicos alteran fácilmente la dinámica de estos sistemas morfosedimentarios altamente sensibles. Las oscilaciones paleoclimáticas han jugado un papel decisivo en su evolución (Tricart, 1954a), siendo la mayoría de las playas consideradas como paleoformas (Cooke *et al.*, 1993). Por esta razón, según Desir, *et al.* (2003), estas depresiones pueden proporcionar abundante información sobre la historia geomorfológica y sedimentaria de una región, constituyendo buenos indicadores paleoambientales.

Las charcas existentes constituyen potenciales *playas* en los momentos en los que se produce una desecación climática (Marshall y Harmse, 1992). “*La deflación profundiza paulatinamente el fondo de la primitiva charca para dar lugar a una playa, que posteriormente en su crecimiento puede coalescer con otras. Estas playas, y especialmente las de mayor tamaño, es posible que hayan sufrido variaciones importantes a lo largo de su desarrollo como consecuencia de las variaciones del régimen hídrico motivadas por las fluctuaciones climáticas cuaternarias*” (Desir, *et al.* 2003: 405). En este sentido, Washington *et al.*, (2006) mediante la utilización de modelos de simulación, establecieron que la deflación se produce preferentemente a partir de depresiones existentes.

6.5.1. Deflación en el nordeste argentino

La ocurrencia de un corto período más seco durante el Holoceno, en distintas localidades del sur de Brasil, fue indicada por diferentes autores (Thomas y Thorp, 1995; Ledru, 1993; Barbosa *et al.*, 1990, Parolin y Stevaux, 2001, entre otros) y en el NEA por Iriondo y Garcia, (1993).



Como destacan Paolin y Stevaux, (2001) en la región del Alto Paraná, ese período climático fue constatado por Jabur (1992), Stevaux (1993, 1994 y 2000). Para la región de Taquaruçu (MS, Brasil), Kramer (1998), establece que hace 3 ka AP existió retorno de una fase seca provocando una intensa fase sedimentación y removilización.

Prego (1961: 309) menciona que, si bien la erosión eólica puede “*manifestarse en una gran diversidad de condiciones climáticas, rara vez adquiere proporciones de importancia en las regiones húmedas*”. Además señala que en Argentina, salvo el caso de las dunas costeras del litoral atlántico, constituidas principalmente con arenas de playa, no se presentan problemas serios y extensivos en las regiones húmedas y subhúmedas; y solo en Corrientes y Entre Ríos se conocen algunos médanos pero solo de importancia local”.

Escobar y Capurro (1988) señalan que en Corrientes es posible encontrar con frecuencia paisajes que muestran claros signos de procesos erosivos causados por el agua y el viento, aunque también mencionan a las lomadas arenosas como paisajes fósiles o inactivos. Según los autores, existe erosión eólica comprobada en los grados entre ligera y moderada, afectando una superficie aproximada de 320.000 ha. A su vez señalan que existen áreas medianas correspondientes a sedimentos arenosos de  deposiciones sucesivas, donde se desarrollan médanos de escasa altura, de base muy ancha en su mayor parte, fijados y muy poco activos, salvo cuando ocurre sobrepastoreo. No obstante, para los autores, estos procesos activos se encuentran relacionados a las distintas actividades del hombre que implican remoción de suelos.

6.6. Las evidencias de paleocauces en lomadas arenosas

En los antecedentes referidos al origen de las lagunas en estudio, solo se ha encontrado un trabajo que hace referencia a una génesis diferente a la deflación y a procesos pseudokársticos. De Diez y de Kesner (1967:6), incluyen a la laguna Ensenadita (Figura 109) como parte de *un conjunto bastante numeroso* correspondientes al departamento San Cosme. Según las autoras, *las lagunas tienen variada morfología, como ser: algunas muy alargadas que responden a antiguos cursos de agua, con contornos elípticos, ovales, circulares, en ocho, triangulares, con ángulos redondeados, etc.*

Figura 109
Laguna Ensenadita, Paso de la Patria (San Cosme, Corrientes). Año 2016



Fuente: Google Earth. 27° 22' 38" S y 58° 33' 20" O

En este punto, se pretende demostrar cuáles serían los procesos por el cual las muchas de las lagunas responderían a antiguos escurrimientos superficiales.

Para Hamblin y Chistiansen, (2004), la mayor parte de la superficie de la Tierra no es perfectamente horizontal, existiendo superficies inclinadas están en todas partes. En la Tierra, la mayoría de los paisajes están formados por la erosión de ríos y se relacionan con las márgenes de los valles fluviales.

STRAHLER (1984:490) menciona que “*la mayoría de los grandes abanicos están afectados por las corrientes principales y muestran también una extensa erosión por pequeñas corrientes que se originan sobre la superficie del abanico*”.

Los ríos y arroyos dan forma continua y reformar sus canales a través de la erosión de los límites del canal, la reelaboración y la deposición de sedimentos. Por ejemplo, la erosión y socavamiento de los bancos pueden dar lugar a la ampliación del canal. Colombo (2010).

Según Bullard y McTainsh, (2003), existe un importante equilibrio entre el poder erosivo del flujo y la fuerza, o la resistencia del canal y los bancos de materiales a la erosión. Durante eventos de grandes inundaciones, al aumentar el flujo del agua, pueden

existir cambios considerables en la forma de canal; especialmente si se trata de materiales no consolidados.

Los autores mencionan que la forma de los canales se da sobre aluviones de arena, ya que requieren, relativamente, menos energía para generar movimientos individuales de granos. Contrariamente, debido a que los limos y arcillas son más pequeños que los granos de arena, es posible esperar que estas partículas sean más fáciles de erosionar. Sin embargo, la tendencia a pegarse por fuerzas de cohesión electroquímicas entre las partículas determina que sean más resistentes a la erosión.

El proceso de *slaking* se produce cuando las márgenes se sumergen rápidamente por las aguas y el aire queda atrapado y comprimido dentro de los poros. El resultado de la presión hace el material sea desprendido (Thorne y Osman, 1988). La saturación también se produce cuando hay un aumento en el nivel freático o durante períodos prolongados de lluvias. En estas condiciones, la presión de poros es positiva entre los granos. Esto debilita las fuerzas de cohesión, actuando como lubricante y reducción de la fricción inter-granular, facilitando el transporte y consecuencia erosionando las márgenes del río.

La agradación del canal, la invasión de la vegetación, y la desviación del flujo, con el tiempo conllevan al abandono del canal original y la formación de nuevos canales (McCarthy *et al*, 1992; McCarthy y Ellery, 1997).

Este proceso genera grandes cambios en la distribución del agua, por lo que el área, alrededor del canal abandonado, poco a poco se deseca. La turba se va acumulando. Esto reduce la superficie de la tierra alrededor del canal, secando por completo el suelo los pantanos (McCarthy *et al*, 1988; Ellery *et al*, 1989). McCarthy *et al.*, (1988) estima que los lechos de los canales arenosos poseen una vida finita, de aproximadamente de 100 años.

Totth, y McCarthy, (2007) mencionan que existen charcas, cuya depresión inicial se relaciona, por ejemplo a meandros abandonados en las llanuras de inundación. Sin embargo, también se le atribuye al mecanismo de interrupción de drenaje donde cierta resistencia en el flujo, ya sea por la forma positiva del terreno, por ejemplo, (Wellington, 1945; de Bruyn, 1971; van Rooyen y Burger, 1973; Helgren, 1979; Goudie y Wells, 1995) perjudican el drenaje comenzando a desmembrar el curso de agua. Por otra parte, consideramos conveniente tener en cuenta a la disminución de las precipitaciones en períodos secos, ya que se reduce el flujo de agua, potenciando el proceso mencionado.

Otras charcas próximas a las redes fluviales, pero que ya no reciben el agua y sedimentos de los ríos activos, se pudieron haber desarrollado a través de una combinación de procesos fluviales y no fluviales. Diferentes autores (Goudie y Wells, 1995, y Partridge y Scott, 2000, entre otros), mencionan que muchos paleoescurrimientos se han interrumpido durante el Cenozoico, debido a factores tales como la aridez a largo plazo, explicando el origen inicial distribuciones lineales de las charcas que se han desarrollado con el tiempo.

Independientemente de los diferentes orígenes e historias de desarrollo de las charcas, en última instancia, se forman comúnmente en relieve topográficamente bajos, locales o regionales, que acumulan el agua derivada de los flujos de los ríos, escorrentía local y/o aguas subterráneas. Esto restringe aún más el desarrollo de drenaje de la superficie integrada, de modo que muchas charcas representan cuencas cerradas sin drenaje a través de un curso o flujo de salida, y por lo tanto actúan como sumideros de sedimentos (Totth, S. y McCarthy, T. 2007).

Sobre la región de lomadas arenosas se detectaron algunas formas que podrían confirmar esta hipótesis de antiguos escurrimientos:

1. La presencia de un gran número de lagunas de formas alargadas en toda la región.
2. El alineamiento en sentido perpendicular a la dirección de la lomada, condicionada por la pendiente del lugar y que fue descripta en la figura 27 (p: 55).
3. La presencia de paleocauces en una lomada arenosa ubicada en el departamento de Goya, cuyo escurrimiento es paralelo al curso del río Corriente. Estos paleocauces en la actualidad se observan como un conjunto de lagunas segmentadas, principalmente hacia las nacientes (Figura 110). Si bien esta situación solo ha sido observada al este del departamento; si es frecuente de observarla en el departamento Ñeembucú (Paraguay), como se puede observar en cercanías de la localidad Tacuarás (Figura 111).

Figura 110

Formación de un meandro a través de un encadenamiento de lagunas (Goya, Corrientes). Año 2003



Fuente: Google Earth. $29^{\circ} 37' 40''$ S y $59^{\circ} 06' 30''$ O

Figura 111

Actuales escurrimientos sobre el paisaje de lomadas arenosas (Tacuaras, Ñeembucú, Paraguay). Año 2014



Fuente: Google Earth. $26^{\circ} 49' 37''$ S y $58^{\circ} 00' 30''$ O

4. De las figuras 110 y 111, es importante remarcar la densidad de los bosques de ribera observados, ya que los mismos acompañan de manera paralela a este conjunto de lagunas. Frente a esta situación, no se descarta la posibilidad de que la existencia y densidad de este tipo de vegetación se encuentre íntimamente ligada a la interconexión de lagunas entre sí y con los esteros o ríos que rodean a las lomadas, permitiendo afirmar aún más la posibilidad de que en el pasado hayan sido cursos menores.

6.7. La interacción entre procesos eólicos e hídricos.

Investigaciones sobre geomorfología de paisajes desérticos han encontrado mayor evidencia acerca de las nociones, sobre todo en cortos períodos de tiempo, que los sistemas eólicos y fluviales no operan independientemente (Muhs and Holliday, 1995; Clarke y Rendell, 1998; Kocurek, 1998; Sweeney y Loope, 2001; Bullard y Livingstone, 2002). Sin embargo, su interacción rara vez es el tema central de la investigación, en particular en los estudios de procesos contemporáneos (Bullard y Livingstone, 2002).

Uno de los motivos de ampliar los conocimientos sobre cómo interactúan los procesos fluviales y eólicos, se fundamenta en el hecho de considerar que el estudiar el relieve y desarrollo del paisaje teniendo en cuenta una perspectiva, puede generar una idea parcial de la realidad. Los procesos eólicos y fluviales no son mutuamente excluyentes, pero es importante comprender por ejemplo, en qué circunstancias, en qué plazos, en qué condiciones climáticas; un solo proceso es capaz de dominar al otro y el mismo desencadena un cambio entre los dos. Es por ello que resulta fundamental la compresión de escalas temporales y espaciales del predominio de uno u otro proceso, ya que sería el primer paso a la hora de responder estas preguntas (Bullard y Livingstone, 2002).

Las diferentes características sedimentarias indican un cambio de un entorno donde la deposición eólica domina a uno de deposición fluvial, o viceversa, y juega un papel importante en la reconstrucción de paleoambientes. La diferenciación espacial y temporal de los procesos dominantes no siempre están claros, sin embargo, los depósitos eólico-fluviales mixtos pueden ser identificados, cuando la interacción de los procesos sedimentarios fluviales y eólicos, es muy sutil (Andrews, 1981; Mountney *et al.*, 1998). En otras palabras, no existe predominio de ningún proceso.

Según Bullard y McTainsh (2003), cada vez hay más pruebas de la comprensión de las interacciones entre procesos eólicos y fluviales. En un rango de escalas de tiempo, es importante no sólo para la reconstrucción de los climas del pasado, sino también para la comprensión de los aspectos de los paisajes contemporáneos como estilos de canal y la morfología dunar. Pruebas sedimentológicas de pasadas interacciones eólicas fluvial están disponibles en la mayoría de las zonas climáticas, sin embargo interacciones contemporáneas son mayores en los entornos semi-áridos y áridos.

Muchos estudios han adoptado una visión polarizada contrastante entre las fases áridas, cuando los procesos eólicos dominan, con fases más húmedas, o "pluviales", cuando se piensa que los procesos fluviales y lacustres a dominan (Bullard y Livingstone, 2002). Sin embargo, la vinculación de la actividad eólica o fluvial a condiciones climáticas, a menudo no es tan sencilla (Bullard y McTainsh, 2003).

Los autores mencionan que, a escala mundial, la actividad fluvial no está fuertemente influenciada por los sistemas eólicos, pero las áreas clave de la actividad eólica pueden estar estrechamente relacionadas con los sistemas fluviales. Esta relación desigual se deriva de la importancia del transporte fluvial en el suministro y la clasificación del sedimento. La selectividad del tamaño del viento como un agente de transporte de sedimentos significa que, a pesar de que los procesos de meteorización de la roca y de transporte de las laderas pueden suministrar pequeñas cantidades de sedimentos al sistema eólico; la mayor clasificación y concentración de los mismos los ofrece la acción fluvial o depósitos eólicos pasados (Smith, 1982; Pye y Tsoar, 1990; Bullard y Livingstone, 2002).

El material aluvial depositado dentro de estos canales y en las llanuras de inundación, es una fuente importante de polvo que da lugar a futuros eventos de deflación. En algunos casos, los depósitos aluviales profundos establecidos durante el Pleistoceno son fuentes de polvo (Próspero *et al.*, 2002), como también lo son las corrientes efímeras actualmente activas (McTainsh *et al.*, 1999).

Langford's (1989) menciona que en estudios de interacciones eólicas-fluviales, encontró que, cuando las interdunas son inundadas y el nivel del agua superaba al nivel de las dudas, el agua se deposita en formaciones cerradas o fluye sobre ellas causando zapping (socavación). Estos estanques o lagunas temporales, drenan sobre la duna y parcialmente van generando un canal desde la duna a la interduna. Este proceso es

similar al descripto en las etapas de evolución de las lagunas en el Capítulo 3 y en lo observado en la figura 59 (p: 97).

Harrison y Yair (1998), en base al seguimiento de una serie de eventos de inundación de las márgenes de las interdunas en Nizzana (Israel), notaron que las mismas fueron erosionadas dejando las áreas centrales como las características del paisaje positivos, aisladas de las dunas de los alrededores. Canales fluviales erosionan los flancos inferiores de dunas pero riachuelos y arroyos pequeños también pueden formar inclinación en la duna sobre sí misma, sobre todo si las dunas son fijas, parcialmente consolidada o tener una costra superficial.

Por ejemplo, Talbot y Williams (1978) describen a los abanicos aluviales que se forman en los flancos de las dunas fijas en el centro de Níger. Los sedimentos de abanicos aluviales provienen de la erosión *headward*²⁴ y socavación inducida por el flujo superficial a través de las partes superiores de las dunas fijas. Este proceso arrastra cualquier material flojo depositado por el viento. Los depósitos eólicos son reelaborados por el flujo de agua y luego se depositan en forma de abanicos aluviales causando la degradación de las dunas (Talbot y Williams, 1978).

El tiempo de respuesta de una laguna a variaciones de cualquier orden de magnitud es muy corto y se refleja de forma inmediata en su dinámica. En este punto, es alta la posibilidad de que la modificación quede incorporada al registro sedimentario. Unos cuantos años con déficit de precipitaciones puede originar grandes variaciones en la lámina de agua de un lago de bajo gradiente topográfico y, en algunos casos, dejar expuestas grandes extensiones del fondo lacustre (Fregenal Martínez y Melendez, 2010).

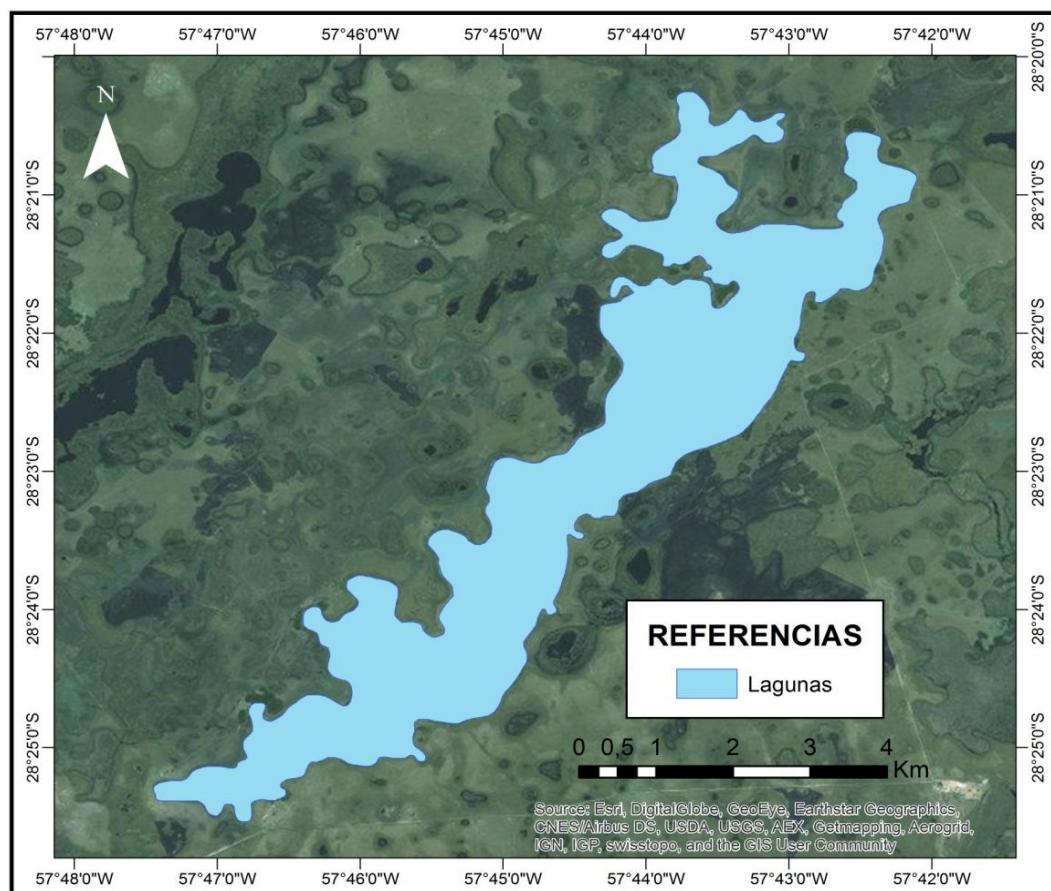
Considerando que las lomadas arenosas son relictos del mega abanico del río Paraná y que los procesos anteriormente mencionados se asemejan a los descriptos en el Capítulo 3, consideramos en esta investigación, no descartar la posibilidad de que estas lagunas también tengan una génesis derivada de la segmentación de antiguos escurrimientos superficiales.

Usualmente, la superficie de los abanicos aluviales muestra diversos cauces abandonados o activos con disposición generalmente radial y focalizada en la zona apical o cabecera (Colombo, 2010b).

²⁴ Esta erosión se encuentra en las nacientes de los cursos de agua y avanza en sentido contrario al del flujo del agua.

En relación a este último punto, las lagunas de las lomadas arenosas clasificadas como *Irregulares Complejas*, tienen la particularidad de ser diferentes del resto de las lagunas, al margen de su morfología. En este sentido, poseen un número relativamente reducido en la región, son proporcionalmente lagunas muy grandes y profundas, se ubican únicamente en el centro de amplias lomadas, poseen un alineamiento general siguiendo la dirección de la lomada que las contiene y de los ríos actuales que la rodean y sus formas se asemejan más a los frentes de avance de los esteros sobre las lomadas, generando dificultades a la hora de considerarlas dentro de las lagunas en estudio (Figura 112).

Figura 112
Laguna Irregular Compleja del paisaje de lomadas arenosas (Concepción, Corrientes)



Fuente: Elaboración personal en base a imágenes de Google Earth y de World Imagery

 Reeves (1970), menciona que para la región de Grandes Planicies (Texas, USA) existen diversidad lagunas, cuyas formas se vinculan a distintos orígenes. Para el autor, la

mayor parte de las cubetas son subcirculares o lineales. Sin embargo, las cubetas lineales siempre son asociadas a canales de escurrimiento del pre-Pleistoceno o Pleistoceno y mantienen el alineamiento regional, mientras que las subcirculares no muestran esta relación.

Esta descripción coincide con lo observado en las lagunas de lomadas arenosas, donde las lagunas de formas complejas, principalmente las *Irregulares Complejas*, visualizada en la figura anterior; cuyo origen podría estar asociado a paleocauces abandonados del río Paraná, su origen dataría durante el Pleistoceno o el pre-Pleistoceno, además de mantener la alineación región (la dirección del escurrimiento dentro del abanico).

6.8. Los procesos pseudokársticos en lomadas arenosas

El primer registro acerca de un proceso de formación pseudokárstica en las lagunas de las lomadas arenosas, lo mencionan De Diez y De Kesner (1967:6), al comparar las lagunas alargadas de las circulares. Como se ha destacado anteriormente, las lagunas alargadas según las autoras, fueron antiguos cursos de agua, mientras que las circulares “cuencas embudo” es semejante al de las llamadas “dolinas aluviales”.

“Se producen en las llanuras aluviales, como debió ocurrir en la región, en la que una gran disposición del río Puelchense estructuró la planicie aluvial de la “región correntina”. En estas arenas limo-arcillosas se han formado cavidades o canales verticales por el arrastre de las aguas, formando el embudo que, luego al descender los materiales finos por eluvación, fue rellenado en su parte inferior hasta formar un manto impermeable en el fondo de las depresiones tomando forma de plato o concavidad. Posteriormente las aguas de lluvia se acumularon en el receptáculo.

Cuando el espesor de la capa impermeable que cubre el fondo de las lagunas desaparece por arrastres hacia zonas muy bajas, el agua es retenida poco tiempo después de las lluvias. Las otras pierden agua por evaporación o infiltración hasta cierto nivel y entonces aparece la playa cubierta por un limo arcilloso”.

Sakamoto et. al., (2004) haciendo referencia a las lagunas de Nhecolândia, señalan que el conocimiento en la escala de detalle de una laguna salina y sus



alrededores, proporciona la comprensión de algunos aspectos de la operación del agua, asociadas a la metodología de análisis estructural de la cobertura del suelo. Se encontró la presencia de una capa de sal, verde, a una profundidad superficial de 0,80 a 1,50 cm, que presenta un alto contenido de sodio.



Probablemente, la capa de sal sirve como una base para mantener en laguna de agua salada. Era evidente también que el análisis ambiental integrada, en la escala de detalle, permite una mejor apreciación y entendimiento de las fortalezas y debilidades de la Nhecolândia Pantanal, permitiendo también a la hipótesis sobre la génesis de los estanques salinos que sería el resultado de procesos geoquímicos sitios asociados con los flujos de agua superficial y subterránea.

Según García Ruiz (2011), uno de los primeros trabajos referidos a la ocurrencia de grandes colapsos en rocas blandas es el de Cano García (1975), referido a la Depresión de Guadix, donde llega a hablar de “karst mecánico” o pseudokarst, debido a la presencia de formas muy similares a los paisajes kársticos, en aquellos lugares donde se detectaba la presencia de procesos de sufosión²⁵.

En arenas de sílice y sus equivalentes metamorfisados (cuarcitas), se pueden desarrollar procesos de disolución de karst en accidentes geográficos a escalas pequeñas e intermedias (Mainguet, 1972). Para Ford y Williamns (2007), en el hábito mineral de cuarzo, la solubilidad de la sílice es muy baja en las aguas meteóricas; pero la cuarcita resiste fuertemente la mayoría de otras formas de ataque en la intemperie y en consecuencia la sílice amorfa (que forma muchos cementos arenisca) es más soluble. La solubilidad de todas las formas de sílice aumenta, en gran medida, en agua por encima de 50° C.

Según Gutiérrez Elorza y Rodríguez Vidal (1984), el término *piping*, de difícil traducción al castellano, es el más utilizado. Este proceso permite describir los conductos que se producen en suelos con materiales sueltos por eluvación o por procesos de erosión diferencial subsuperficial.

Para los autores son numerosos los factores que desarrollan *piping*, incluso pueden combinarse o potenciarse. Es un proceso azonal, ya que se manifiesta en todo el mundo, pero es en zonas semiáridas donde poseen su mayor desarrollo debido a la necesidad de agrietamiento por desecación que favorece el *piping*. Intensas

²⁵ Procede del latín *suffosio* que significa, esencialmente, excavar por debajo y, accesoriamente, perforar de abajo arriba (Gutiérrez Elorza y Rodríguez Vidal, 1984).

precipitaciones en cortos períodos de tiempo alimentan los conductos y evacuan el material.

Cano García (1975); Gutiérrez Elorza y Rodríguez Vidal (1984); López Bermúdez y Torcal Sáinz (1986) y García Ruiz (2011), señalan también la importancia de los fuertes contrastes pluviométricos estacionales típicos de los ambientes semiáridos. Largos períodos sin lluvias favorecen la desecación y el agrietamiento, que más adelante dirigen la infiltración durante precipitaciones muy intensas, contribuyendo a una rápida erosión en profundidad.

“El desarrollo de estos conductos va siempre ligado a la presencia de materiales no consolidados. Los tamaños óptimos para su generación son los de arcilla-limo-arena fina, que pueden ser fácilmente evacuados. Con frecuencia los conductos se producen en el contacto de estos materiales con horizontes arcillosos impermeables o con sedimentos consolidados” (Gutierrez Elorza y Rodriguez Vidal, 1984: 76) y el aumento en las concentraciones de Sodio en profundidad que favorece a la dispersión del suelo (Romero Díaz *et al.*, (2009).

Para estos últimos autores, cuando los porcentajes de arcilla son inferiores al 70%, la dispersión asociada con la acción del sodio desagrega la estructura y entonces no disminuye la infiltración. El sodio acelera la pérdida de coherencia y la fácil exportación de materiales finos en cuanto se inician conductos por los que fluye el agua lateralmente (García Ruiz, 2011). Con la presencia de un gradiente hidráulico estas condiciones son óptimas para el desarrollo de *pipes* (Romero Díaz *et al.*, 2007; Nadal Romero *et al.*, 2011).

 La ausencia o que hasta el momento no se hayan detectado cavidades en el interior de las lomadas arenosas, no debería de anular la posibilidad de que ocurran estos procesos e incluso que no se vuelvan frecuentes en un futuro.

En este sentido Ford y Williams (2007: 4) mencionan que *“el acto mismo de la circulación del agua subterránea causa el agrandamiento progresivo de espacio vacío y un aumento proporcional de la permeabilidad. Así, aunque el flujo de las  subterráneas inicial en karst es laminar, se hace cada vez más turbulento”*. Para los autores el agua subterránea kárstica posee  evolución que la distingue de otros ambientes subterráneos, especialmente si se trata de suelos porosos, de allí que sería un error aplicar cálculos de uno sobre el otro sin antes realizar los ajustes e interpretaciones correspondientes.

Estas condiciones mencionadas para el desarrollo de *piping* podemos encontrarlas sobre las lomadas arenosas, en las cuales la capa arenosa de, aproximadamente 80 cm, se asienta sobre un estrato arcilloso impermeable. No obstante no se ha podido comprobar la presencia de *piping* en toda la región, pero podemos destacar el ejemplo de “*La Cascadita*”, la cual es una cárcava en el departamento de Goya (Figura 113).

Figura 113

Imagen de Google Earth de “La Cascadita” (Goya, Corrientes). Año 2016

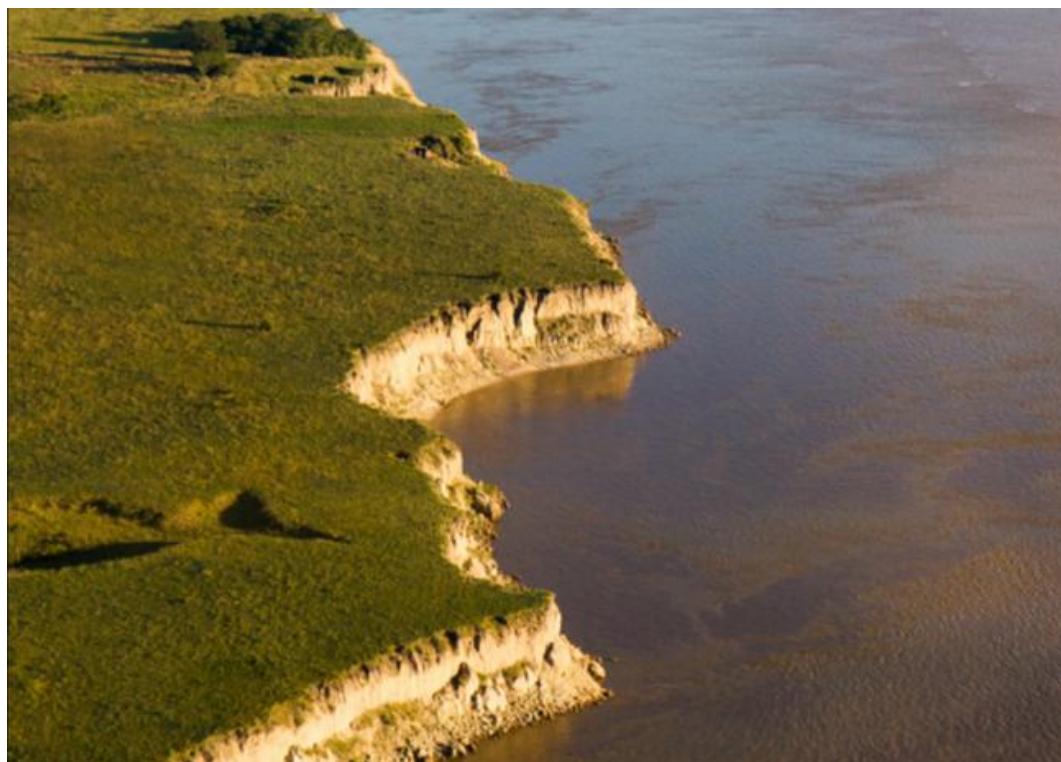


Fuente: Google Earth. 29° 09' 53" S y 59° 11' 44" O

El *piping* contribuye a acelerar el abarrancamiento y la evolución del paisaje hacia modelados ruiniformes²⁶ (Brian y Yair, 1982; García Ruiz, 2011), hasta el punto que se ha afirmado que los conductos pueden ser tanto una causa como una consecuencia de la evolución de las cárcavas (Jones, 2004). Sin embargo, no existen muchos trabajos referidos a estos procesos en sedimentos aluviales como en nuestro caso, debido a la menor eficacia de la sufosión (*piping*) (García Ruiz, 2011). Esta podría ser uno de los motivos por el cual no se han detectado, hasta el momento, estos procesos sobre las lomadas arenosas, aunque por otro lado, en la provincia de Corrientes, es muy frecuente de observar cárcavas sobre la línea de ribera del río Paraná desde Ituzaingó hasta Esquina (Figura 114).

²⁶ Los paisajes ruiniformes son aquellos formados por hundimientos por procesos kársticos, cada vez más numerosos y confluientes, hasta llegar a un desmoronamiento masivo dando un aspecto ruinoso.

Figura 114
Procesos de piping cercanas a barrancas sobre el río Paraná



Fuente: Fotografía de Edwin Harvey (2015)

La particularidad que presenta la *Cascadita*, es que son las únicas cárcavas encontradas sobre las lomadas arenosas, lo que da la pauta de que estos procesos pueden desarrollarse sobre las mismas.

En la figura 115 se puede observar una fotografía tomada hacia la desembocadura, destacándose la diferencia entre 5 y 6 m entre el fondo del valle y las terrazas marginales.

Dichas cárcavas poseen 1 km de largo y 70 m de ancho máximo, solo consideramos el sector donde se desarrollan, antes y después de convertirse en un arroyo casi imperceptible. Pero, si consideramos desde su cabecera hasta su desembocadura en forma de abanico aluvial, su extensión es de 3,6 km. Este abanico se forma debido a la brusca pérdida de pendiente al pasar de la lomada arenosa a la planicie circundante (Figura 116).

Figura 115
Fotografía del valle del arroyo La Cascadita (Goya, Corrientes)



Fuente: Fotografía de Mariana Odriozola. Año 2015

En la figura 120 se evidencia la extensión del arroyo y su conexión con una laguna, no obstante todas las lagunas parecieran encontrarse alineadas o conectadas directa e indirectamente en dirección a La Cascadita. Otras características apreciables son la falta de bosques, ya sea como isletas boscosas aisladas como así también los bosques de ribera que permiten delimitar a las lomadas arenosas, y más importante aún, la presencia casi exclusiva de lagunas circulares. Esta situación difiere completamente en la porción oriental de la misma lomada.

Figura 116

Líneas preferenciales de escurrimiento desde lagunas hacia las cárcavas (Goya, Corrientes). Año 2016



Fuente: Google Earth. 29° 10' 34" S y 59° 11' 10" O

En la figura 117 se puede observar el perfil de la barranca, distinguiéndose el estrato arenoso superficial y la subyacente asociada a la Fm. Toropí. En esta fotografía se puede visualizar agua que emerge de la zona de contacto entre ambas, demostrando la existencia de un escurrimiento subsuperficial.

Figura 117
Fotografía de la Barranca de La Cascadita (Goya, Corrientes)



Fuente: Fotografía de Mariana Odriozola. Año 2016

Por otra parte, si bien ya se ha mencionado que el gradiente hidráulico es imprescindible para que exista la sufosión, García Ruiz (2011) menciona que se requiere un importante salto topográfico que aumente la velocidad del flujo y, por lo tanto, que facilite el arranque de partículas en el interior del suelo y su transporte. Por ello, los mejores ejemplos de colapsos aparecen cerca de barrancos que han experimentado un proceso de encajamiento. En ocasiones incluso se ha detectado la presencia de *piping* en orillas fluviales, sobre depósitos de terrazas.

En función de lo expuesto se podría inferir que la formación de lagunas mediante estos procesos relacionados con la pérdida de materiales finos y solubles por el transporte lateral del agua subsuperficial, surgiría luego de que el modelado fluvial actuara sobre el abanico aluvial del río Paraná, mediante de la conformación de los interfluvios, en otras palabras a las lomadas arenosas.

Cuando las diferencias topográficas entre las lomadas y las planicies circundantes fueron más marcadas o dejaron expuestas a la napa colgada, comenzaron los procesos de pseudokársticos de conformación de lagunas. Estos procesos, estarían relacionados con dos factores: 1- La eluviación e iliviación de arcillas o materiales finos 2- A la pérdida de Hierro principalmente en estado soluble (Fe⁺⁺). Las diferencias entre los dos horizontes se puede observar en la figura 118.

Figura 118

Fotografía de un perfil del suelo de una lomada arenosa (Chavarría, San Roque)



Fuente: INTA (2014)

Según INTA (2014), las lomadas arenosas presentan suelos *Psamacuentes típicos* (Entisoles), presenta un horizonte superficial (A1) de 18 cm de espesor, (óxico) arenoso

franco, débilmente estructurado con predominio de bloques subangulares débiles y granos sueltos de arena, poroso, de color pardo amarillento en húmedo; con manchas orgánicas provenientes de la descomposición de raíces finas, que continúan en un A2, en donde se observan adémás rasgos redox (masas no cementadas de hierro oxidado). A partir de los 38 cm mediante un límite gradual y plano se define un AC constituido por dos subhorizontes (AC1 y AC2), que en conjunto alcanzan a los 65 cm, arenoso franco, de color pardo amarillento oscuro, con estructura débil de bloques subangulares y masiva, presenta masas no cementadas de hierro oxidado. Entre 65 y 80 cm el horizonte Cg es arenoso franco, pardo claro, saturado con agua fácilmente visible, gleizado sin estructura, con masas no cementadas de hierro y áreas localizadas de pérdida de arcillas y hierro por lavado. A partir de los 80 cm mediante un límite abrupto y ondulado se define un horizonte argílico enterrado (2Btbg), franco arcilloso arenoso, moderadamente estructurado, plástico y ligeramente adhesivo, con esas plintitas y vetas gleizadas amarillentas. Sobre éste se define la base de una napa colgada estacional cuyo techo en el sitio alcanzó los 76 cm desde la superficie. Se observa escurrimiento subsuperficial (entre techo del 2Btbg y la base del horizonte Cg).

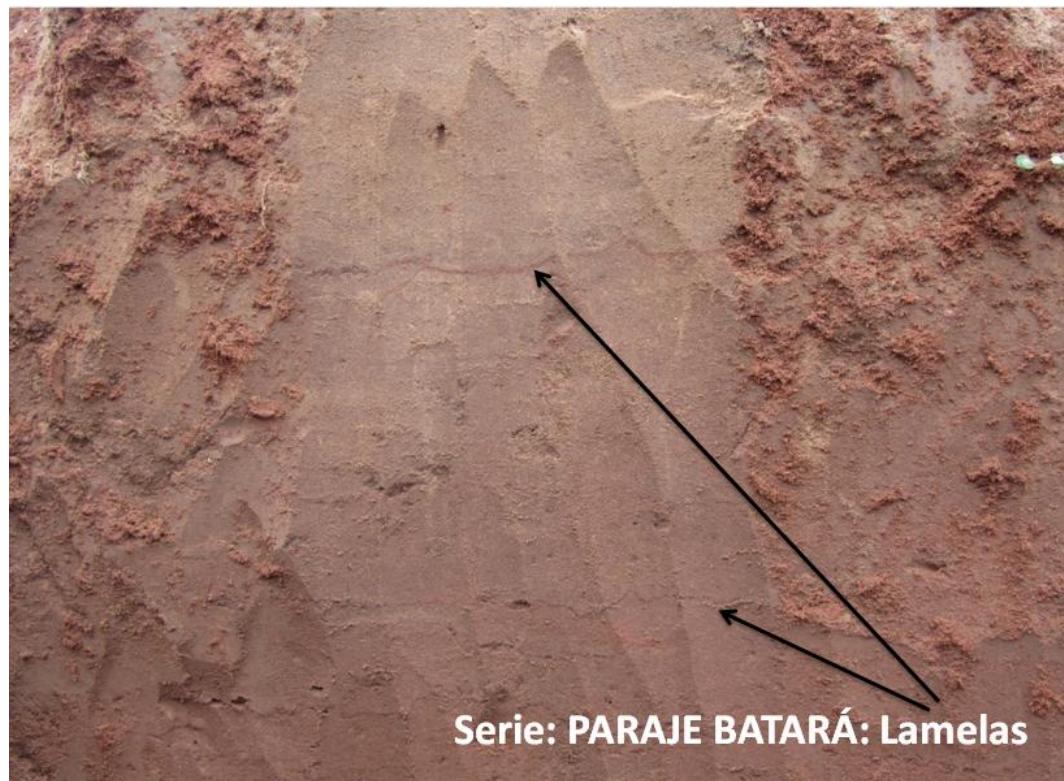
Una señal de eluviación de arcillas es la presencia de lamelas detectadas por el INTA (2014) (Figura 119). Según USDA – NRCS, (2010: 21) “*una lamela es un horizonte iluvial menor de 7.5 cm de espesor formada en regolita no consolidada de más de 50 cm de espesor. Cada lamela contiene una acumulación de arcilla silicatada orientada sobre o uniendo granos de arena y limo (y fragmentos de roca si están presentes). Se requiere que cada lamela tenga más arcilla silicatada que el horizonte eluvial suprayacente*”. A su vez, el INTA (2014) también ha detectado zonas claras con pérdidas de arcilla (Figura 120).

Las características del perfil de Chavarría (Tabla 18), nos demuestra que las lomadas poseen un porcentaje de arcilla inferior al 70% y un aumento en las concentraciones de sodio en la zona de contacto entre el horizonte arenoso y impermeable; con lo cual estarían dadas las condiciones para que haya transporte de materiales finos según (García Ruiz, 2011).

En síntesis, se puede inferir que los procesos pseudokársticos de las lomadas arenosas se encuentra relacionado con el transporte, tanto horizontal como vertical, de materiales finos combinados con óxidos de hierro.

Figura 119

Presencia de lamelas (Arcillas con concentraciones de óxido de hierro). Paraje Batará, Corrientes)



Fuente: INTA (2014)

Tabla 18. Características del perfil del suelo de Chavarría (San Roque)

Horizonte	A1	A2	AC1	AC2	Cg	2Btbg
Profundidad (cm)	0 - 18	18 - 38	38 - 44	44 - 65	65 - 80	>80
Arcilla (<0,002mm)	11,10	12,20	11,80	11,20	11,20	34,10
Limo (0,05 – 0,002 mm)	6,30	5,20	5,60	4,20	3,10	4,2
Arena Total (%)	82,60	82,60	82,60	84,70	85,70	61,80
CC (%)	5,40	5,60	5,30	4,10	3,20	15,10
pH 1:2,5	5,50	5,10	5,50	5,50	6	7,20
Conductividad (mS.cm ⁻¹)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Calcio Ca ⁺⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	1
Magnesio Mg ⁺⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40
Sodio Na ⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0,09	0,06	0,06	0,06	0,11	0,31
Acidez Int. H ⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	3,17	2,80	2,84	1,37	1,90	7,16
C.I.C., T (cmol _c .kg ⁻¹)	3,69	3,28	3,31	1,84	2,63	8,90

Fuente: INTA (2014)

Figura 120
Fotografía de pérdida de Arcilla en el Horizonte arenoso



Fuente: INTA (2014)

6.8.1. Evidencias de pérdida de hierro en lomadas arenosas

El hierro es un mineral muy común en los ambientes oxigenados de un lago. Puede aparecer en forma de carbonato de hierro, esencialmente siderita y ankerita, en forma de sulfuros como la pirita, o de óxidos de hierro y de hierro y manganeso, más o menos complejos, siendo los más comunes la goetita y la limonita. En cuanto a su procedencia, ésta puede ser muy diversa. La erosión de rocas cristalinas presentes en su cuenca de drenaje es una fuente de abundante hierro y manganeso. El hierro acumulado en perfiles edáficos en diversos puntos de la cuenca de drenaje que son erosionados puede llegar al lago en forma coloidal o asociado a minerales de arcilla junto con otros sedimentos detriticos. (Fregenal Martínez y Melendez, 2010).

La degradación orgánica de restos vegetales en el lago o en su entorno es una fuente importante y favorece a la solubilidad del hierro facilitando su transporte en aguas superficiales y subterráneas (Jones y Bowser, 1978).

Es común que aparezca reemplazando estructuras orgánicas de restos fosilizados de organismos (Briggs *et al.*, 1995).

En sedimentos palustres edafizados el hierro es un componente habitual, y llega a encontrarse en gran abundancia en suelos formados en condiciones tropicales y subtropicales de tipo laterítico. Fregenal Martínez y Melendez, (2010).

En cuanto al fósforo, suele aparecer en formas de fosfatos, muy ligado al hierro y relacionado con procesos diagenéticos. Su presencia está íntimamente ligada a la materia orgánica, restos vegetales, diatomeas, pallets fecales, huesos, dientes de vertebrados que constituyen la fuente primaria del elemento (Porter y Robbins, 1981). Su formación está restringida por la presencia de carbonato cálcico en abundancia. El apatito, el hidroxiapatito y la vivianita suelen ser las especies minerales más frecuentes, junto con los complejos que forman con óxidos e hidróxidos de hierro (Jones y Bowser, 1978), siendo frecuente su aparición junto con diatomitas y en sedimentos ricos en arcillas y materia orgánica (De las Heras *et al.*, 1989; Tiercelin, 1991; Stamatakis y Koukouzas, 2001).

En la figura 121 se pueden observar las tonalidades rojizas provenientes de la napa colgada, permitiendo inferir que hay pérdida de hierro en la región.

Figura 121

Manchas de Óxido de Hierro provenientes de la Napa Colgada (Goya, Corrientes)



Fuente: Fotografía de Mariana Odriozola. Año 2015

Los resultados demostraron la existencia de Hierro, obteniendo concentración entre 0,449 – 0,791 mg/L para el agua del área limnética de las lagunas; 0,992 mg/L para el agua extraída de la perforación previas a las lluvias y 2,631 mg/L para el agua de la perforación realizada posteriormente a las lluvias.

Consideramos conveniente aclarar lo siguiente:

1. El número reducido de muestras se fundamenta exclusivamente en el carácter exploratorio y en determinar la presencia de hierro, tanto en el agua de las lagunas como en la napa colgada.
2. Las concentraciones de hierro inferiores en la perforación previa a la lluvia en comparación con la realizada posterior a la misma, se debe a que la misma ha quedado expuesta el escurrimiento laminar en superficie, con lo cual pudo disminuir considerablemente las concentraciones. Sin embargo permiten tener idea acerca de la concentración de hierro soluble en los escurrimientos subsuperficiales.

Basándonos en los antecedentes sobre los procesos que dan origen a las lagunas y a las charcas y sumado al análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, se podría decir que asociar la génesis de estos cuerpos de agua con un único proceso sería un grave error.

6.9. Lagunas en lomadas arenosas, cuerpos de agua poligenéticos

Consideramos que al hacer referencia al tema del origen de las lagunas de lomadas arenosas, es mucho más prudente mencionar que son poligenéticas, pero que poseen una misma dinámica geomorfológica, con lo cual, las formas iniciales, quedan enmascaradas con los agentes modeladores de la región.

No obstante, podemos inferir ciertas etapas de evolución, al margen de las propuestas en el Capítulo 3, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado:

1. *Paleoescrurimientos Iniciales*: Ya que las lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina) y su contraparte en los Esteros del Ñeembucú (Paraguay), constituyen el Mega abanico aluvial del río Paraná, consideramos que un gran número de lagunas ocuparían aquellos lugares que antiguamente pertenecían a cursos o canales secundarios del abanico aluvial y que con el tiempo, al quedar desconectados, han quedado aislados de los cursos activos y por lo tanto, se convirtieron en cuerpos de agua léticos. Un ejemplo de estas lagunas, serían las clasificadas como *Grandes lagunas de formas complejas* ubicadas en las porciones centrales de las lomadas arenosas, cuya dirección presenta la misma alineación que la lomada que la contiene.
2. *Escrurimientos superficiales más recientes*: Si bien esta génesis puede ser considerada como similar a la anterior, consideramos que existen claras diferencias en las escalas de tiempo de formación. En otras palabras, inferimos que estas lagunas se formaron en períodos mucho más recientes, pero a diferencia de las anteriores, éstas poseen un escrurimiento perpendicular a la dirección de la lomada que las contiene. Esta situación se desarrollaría una vez que el modelado fluvial actuara sobre el abanico aluvial, dando como resultado un paisaje convexo, es decir el actual paisaje de *lomadas*. En consecuencia, pasaríamos de un paisaje relativamente plano a encontrarnos con pendientes superiores al

3% que dan lugar escurrimiento superficial. A su vez, este paisaje comenzaría a depender de las precipitaciones locales, con lo cual, en períodos secos, se desarrollarían los procesos de sedimentación, segmentando estos escurrimientos menores que, sumado a una extensión lateral y a la erosión de costa producida por el oleaje, surgirían gran parte de las lagunas actuales

3. *Lagunas como resultado de la deflación:* Como se ha destacado en los antecedentes sobre el tema, existe una interacción entre los procesos de erosión hídrica y eólica, siendo que la segunda se potencia luego del actuar de la primera. Es decir que, partiendo de que el abanico aluvial posee canales principales y secundarios, que con el tiempo se segmentan y que a su vez pueden volver activarse para luego desactivarse, que estaríamos en una línea de tiempo entre los 5000 AP y la actualidad y por lo tanto, frente a ciclos climáticos de muy húmedos a muy secos; no podríamos descartar la presencia de cubetas de deflación o *playas lakes* en la región. En este sentido, el paisaje fluvial que ofrecían y ofrecen las lomadas arenosas, proporcionan materiales susceptibles a la erosión eólica en períodos secos. Esta situación si bien es descripta en los antecedentes sobre el tema, en la región hemos visto como las lagunas pueden secarse por completo con precipitaciones anuales inferiores a 1.000 mm, con lo cual no se precisaría un clima estrictamente árido para que porciones de las lomadas queden expuestas. La deflación podría ser la explicación de la presencia de numerosas charcas y lagunas aisladas semipermanentes, de fondo plano; pero también responsable de la profundización de las cubetas existentes. En síntesis, en períodos secos se conformarían pequeñas charcas y se profundizarían los cursos menores que se han secado que, al retornar el período húmedo se llenan de agua impidiendo el crecimiento de la vegetación en dichos lugares. Posteriormente, al retornar el período seco, son lugares expuestos que favorecen la deflación retrabajando estos cuerpos de agua, reiniciándose el ciclo nuevamente.
4. *Procesos Pseudokársticos:* Los materiales que se perderían en estos procesos serían dos. Por un lado, la eluviación e iliviación de las arcillas y por el otro el transporte del hierro soluble. En primer lugar, el INTA ha demostrado a través que en la capa arenosa de entre 1,50 – 2 m, existe

una redistribución de los materiales dejando los más gruesos (arena) más superficiales y los más finos (arcillas) más profundos, motivo por el cual el porcentaje de arcilla aumenta en profundidad. Esta migración queda demostrada en la fotografía de las *lamelas*, las cuales son el resultado de la migración de las arcillas. Por otra parte, el hierro en estado Fe++, al ser soluble, se va infiltrando en períodos húmedos que, rápidamente puede tornarse en estado Fe+++ y fijarse al suelo al tomar contacto con el aire. Cualquiera sea el material que desciende, al llegar a la capa impermeable (napa colgada) subsuperficial ubicada a 1,80 m de profundidad aproximadamente, comienza ya no una migración vertical sino horizontal. De esta manera irían quedando espacios vacíos en determinados lugares, que al compactarse, darían lugar a depresiones. Lo importante de destacar en estos procesos, es el rol fundamental de esa capa impermeable y la generación de la napa colgada, ya que facilita el transporte de los materiales más finos entre los más gruesos. La ocurrencia de estos procesos son clave para explicar la distribución de aquellas lagunas que no poseen fondo plano, sino que más bien parecen dolina aluviales y que a su vez no se puede detectar, superficialmente, conexión alguna con otros cuerpos de agua.

En relación con todo lo expuesto, podemos afirmar entonces que nos encontramos frente de diferentes procesos que dieron origen a las lagunas de las lomadas arenosas. Es fundamental comprender que estos procesos no actúan aisladamente, sino que por el contrario, pueden potenciarse mutuamente, o sea que la ocurrencia de uno, no excluye al otro.

Por otra parte, independientemente del proceso que dio origen a las lagunas, se debe destacar su dinámica geomorfológica, ya que la misma enmascara, entre otras cosas, las respectivas morfologías de origen. Es decir, una vez formada la cubeta, al encontrarse bajo un mismo clima, tanto húmedos como secos, mismas características geológicas, edáficas y biogeográficas; los agentes modelantes actuarán en los mismos momentos y de las mismas formas en cada una de ellas.

Las lagunas con mayor amortiguación hídrica y por lo tanto, que pueden resistir los períodos secos, tendrán características similares a las iniciales. Sin embargo, aquellas más someras o que se secan en determinados momentos, quedan expuestas a la

deflación y a la colmatación, con lo cual su morfología se va modificando y en consecuencia, podrían alterarse las características ecológicas de sus aguas.

Conclusiones

Claramente el relieve, y en consecuencia, los paisajes de la provincia de Corrientes se encuentran íntimamente relacionados al agua, tanto por las condiciones de humedad actual, como las pasadas. Es por ello que sin importar el sector del territorio provincial que nos encontremos, será posible observar un determinado curso de agua encauzado, como también una gran extensión de humedales, que incluyen a las lagunas, bañados, cañadas y esteros.

La porción occidental o deprimida de la provincia presenta una heterogeneidad paisajística significativa, no solo en abundancia de recursos hídricos; sino también en la diversidad de cuerpos de agua, cuya génesis, dinámicas naturales y respuestas a los ciclos húmedos y secos difieren enormemente pese a encontrarse a distancias que muchas veces no superan el kilómetro.

Los resultados de esta investigación permitieron, en primer lugar, inventariar la totalidad de lagunas ubicadas sobre el paisaje de lomadas arenosas, alcanzando un total de 38.926 cuerpos de agua, con una densidad de 3 lagunas por Km², que en promedio representan un 20% de densidad lacustre de este paisaje que las contiene y un 3% de la superficie de la provincia de Corrientes.

En cuanto a la digitalización, en consideración con la escala y los objetivos propuestos, se realizó en forma manual, resultando ser más efectiva que la generada mediante una clasificación automática; con lo cual la balanza coste – beneficio se inclinó más en obtener datos con mayor precisión empleando más tiempo. Sin embargo no se descarta la posibilidad en un futuro de realizar estudios temporales empleando metodologías automáticas, ya que se partiría del conocimiento de la ubicación precisa de cada laguna.

Por otra parte, el tener que digitalizar individualmente a cada laguna fue de utilidad para tomar conocimiento acerca de las formas y características propias de cada una, lo que ha permitido establecer una clasificación teniendo en cuenta su estado evolutivo y la permanencia de sus aguas, de modo que esta información constituya un criterio de selección a la hora de realizar estudios relacionados a la calidad del agua y su repercusión en las distintas comunidades acuáticas.

En base a lo expuesto, se han generado siete grupos principales: 1- *Lagunas aisladas semipermanentes*, 2- *Lagunas aisladas permanentes*, 3- *Lagunas con interconexión semipermanente*, 4- *Lagunas con interconexión permanente*, 5- *Grandes*

lagunas de formas simples permanentes, 6- Grandes lagunas de formas complejas y 7- Lagunas conectadas con la planicie, las cuales se subdividen en 3 etapas: 7.a) *Conexión con la planicie*, 7.b) *La laguna forma parte de la planicie sin perder su condición de laguna* y 7.c) *La laguna ha perdido su condición como tal y la planicie ha avanzado sobre la lomada erosionándola.*

Es importante mencionar que aquellas lagunas clasificadas como semipermanentes se encuentran mucho más expuestas a sufrir distintos impactos antrópicos, principalmente asociados al crecimiento espacial de las ciudades.

A su vez se, pueden destacar dos tipos de procesos asociados a las cubetas de las lagunas. En primer lugar a procesos *intra-cubeta*, ya sea de erosión y sedimentación relacionadas a cambios morfométricos y a procesos extra-cubeta de conexión o segmentación entre dos o más lagunas. Ambos procesos pueden desarrollarse tanto en períodos de húmedos como en secos.

Durante las fases húmedas las lagunas pueden erosionar sus costas por el accionar del oleaje, desbordarse y anegar los paisajes circundantes. De ocurrir esto, una laguna puede conectarse con una o más lagunas. Sin embargo, las lagunas que se encuentren topográficamente más altas se erosionarán y dichos sedimentos se transportaran y depositarán en lagunas topográficas más bajas. En consecuencia, las lagunas conectadas, “más altas”, tienden a profundizarse mientras que las “más bajas” a colmatarse y esta sería la explicación del porqué las lagunas se segmentan con el correr del tiempo o pueden llegar a extinguirse.

En otras palabras, si bien se propone que en períodos húmedos las etapas evolutivas de las lagunas avancen desde pequeñas lagunas semipermanentes a grandes lagunas permanentes, estos procesos pueden actuar de forma inversa al retornar un período seco.

Las lagunas que presentan cierto grado de conexión con las planicies circundantes, merecen especial atención ya que la tendencia de la misma es la de erosionar las lomadas arenosas y de ocurrir esto los esteros avanzan sobre estos paisajes. En este punto las lomadas se encuentran expuestas a erosionarse por las precipitaciones locales intensas, en un proceso similar al de disipación de dunas, a la erosión de costa producida por el oleaje y a la erosión por los aumentos del nivel del agua de los esteros, que dependiendo de la ubicación pueden estar relacionado a inundaciones de cursos autóctonos, como tampoco se descarta la posibilidad de inundaciones del río Paraná.

Mediante la generación de modelos de escurrimiento empleando los modelos digitales de elevación, se ha podido constatar que el dinamismo geomorfológico de las lagunas de las lomadas arenosas se rige bajo un control morfológico condicionado por las pendientes propias del relieve y por lo tanto sus procesos son superficiales y subsuperficiales.

Los resultados de los modelos de escurrimientos han sido corroborados mediante la comparación con las imágenes de Google Earth y el World Imagery en ArcGIS 10.1, obteniendo resultados que permiten detectar las líneas preferencias de escurrimiento que conectan a dos lagunas entre sí, como así también en la clasificación en función de la subcuenca a la que pertenece cada laguna.

El análisis morfométrico ha permitido afirmar cuantitativamente la descripción de estos cuerpos de agua como pequeñas lagunas circulares. Del total de lagunas, el 72% posee una forma circular, las subcirculares 14%, triangulares 13%, irregulares simples 1%, mientras que las dendríticas e irregulares complejas no alcanzaron el 1%. Hasta el momento no se ha encontrado un patrón de distribución en cuanto a sus formas, sin embargo las formas más complejas (irregulares simples, dendríticas e irregulares complejas), solo se desarrollan en lomadas más anchas o con marcadas diferencias topográficas dentro de ella; mientras que las formas simples (circulares, subcirculares y triangulares) se desarrollan en sectores más abiertos y planos de lomadas arenosas, sin importar la extensión de la misma.

Sobre el paisaje de lomadas arenosas, las formas complejas se encuentran asociadas a procesos de anegamientos y contemplan un gran número de lagunas, mientras que las formas simples pueden abarcar hasta un máximo de tres cubetas. Si la pendiente es muy marcada, es posible detectar formas subcirculares o triangulares.

Para el caso del Desarrollo de la Línea de Costa, si bien es una variable que deriva del perímetro y la superficie, los resultados demostraron que existe una mayor correlación entre el D_L y el perímetro, que el D_L y la superficie. Esta situación nos permite inferir que una laguna puede adoptar una determinada forma sin importar su tamaño. Por otra parte, si bien una laguna al conectarse con otra mediante una línea preferencial de escurrimiento adopta una forma triangular, al ir ensanchándose en el canal que las conecta comienza a haber un mayor desarrollo de la superficie y en consiguiente una disminución en los valores de D_L , adoptando una forma subcircular.

En períodos húmedos las conexiones entre las lagunas es mayor, pero al retornar el período seco, el mismo puede reducirse o extinguirse y es por este motivo que no existen diferencias sustanciales entre las formas subcirculares y triangulares.

El análisis estadístico ha permitido establecer regiones dentro del paisaje de lomadas arenosas en función de la morfometría de las lagunas, estableciendo cinco grupos cuya distribución varia de E – O. Esta clasificación o regionalización dentro de las lomadas surge en función del predominio de determinadas formas, disminuyendo los valores de D_L a medida que nos alejamos del vértice en Ituzaingó. La principal explicación de la misma se asocia a la disminución de la topografía de las lomadas arenosas en la misma dirección E – O y en consecuencia un aumento de espacios abiertos y planos hacia el Oeste, necesario para la existencia de lagunas circulares.

La comparación temporal de los cambios morfométricos, permitieron confirmar que las lagunas de lomadas arenosas poseen una rápida respuestas a los ciclos húmedos y secos de la región. La generación del Índice de Cambio, ha permitido discriminar de manera precisa aquellas lagunas que poseían cambios significativos, como la segmentación en varias cubetas; de aquellas de cambios moderados que solo reducían su superficie.

No obstante, se ha podido comprobar que las lagunas de las lomadas arenosas, al igual que las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio, tienden a volverse circulares a medida que comienzan a extinguirse. Sin embargo, la forma de reaparición de las lagunas también es circular, con lo cual estamos en presencia de procesos de expansión y compresión circulares, modelando con ello la morfología de la cubeta, siendo el principal motivo por el cual existe un gran número de lagunas con dicha forma.

En relación a la comparación entre las lagunas de las lomadas arenosas y las lagunas del valle aluvial del río Paraná Medio, se pudo concluir que las primeras poseen un predominio de formas simples, mientras que las segundas presentan formas más complejas, pese a responder a maneras similares a la hora de ir colmatándose. Sin embargo, las lagunas del valle aluvial reinician el sistema, ligado a los pulsos hidrosedimentarios del río Paraná. En otras palabras, las inundaciones que se desarrollan en relativos cortos períodos de tiempo permiten recuperar la forma original de estas lagunas, con lo cual no es de extrañar que las formas comunes se encuentren relacionadas a formas asociadas a procesos de inundación y anegamiento. Por otro lado, las lagunas de las lomadas arenosas dependen exclusivamente de las precipitaciones y como se pudo comprobar, ni aún precipitando 1400 mm en diez meses, muchas lagunas

han ocupado la totalidad de su cubeta, dando la pauta de que estas lagunas responden a un período mucho más húmedo que el actual.

Estas variaciones, tanto morfológicas como morfométricas, son las transiciones propias de la dinámica geomorfológica de la región y que exigen continuar con estos estudios en el tiempo.

Teniendo en cuenta las rápidas respuestas de las lagunas de lomadas arenosas a los períodos húmedos y secos de la región, se destaca la importancia de los conocimientos generados en esta investigación, ya que el estudio y dinámicas naturales de estos cuerpos de agua son fundamentales para reducir al mínimo los posibles riesgos de anegamientos que deja expuesta a la población; principalmente en la ocupación de nuevos espacios en los crecimientos urbanos de la región.

El caso más representativo es la ciudad de Corrientes que en 60 años ha crecido 17 Km² de los cuales, el 10% eran espacios pertenecientes a lagunas y en la actualidad son barrios con reiterados problemas de anegamiento. A ello se le suma el nuevo frente de avance de la ciudad hacia la localidad de Santa Ana de los Guácaras (San Cosme), donde se han detectado 18 lagunas que han sufrido algún tipo de alteración en sus cubetas como ser construcción de casas, trazado de calles y rellenos del terreno. Se pudo constatar que estos impactos ambientales ocurren en períodos secos, asociados con el secado completo de la laguna impactada. Al retornar el período húmedo, se reactivan las cubetas y con ello las consecuencias de una falta de ordenamiento territorial en la región.

En relación a los impactos ambientales, la forestación es la principal actividad económica que impacta sobre las lagunas, no solo por su gran desarrollo espacial sobre las lomadas, sino que en la actualidad se observa como los aserraderos depositan sus residuos dentro de las cubetas, ya que al ser depresiones naturales, actúan como “basureros”.

En cuanto al origen de estas lagunas, se concluye que su génesis no está ligada a un único proceso, sino que por el contrario, son poligenéticas. En este sentido, se destacaron cuatro procesos: 1- Antiguos paleocauces del mega abanico aluvial del río Paraná, que dieron origen a las grandes lagunas irregulares que mantienen la misma alineación que las lomadas que la contienen. 2- Escurrimientos superficiales más actuales asociados a las lagunas con alineaciones perpendiculares al de las lomadas. 3- Procesos pseudokársticos relacionados a escurrimientos subsuperficiales y a la pérdida de materiales finos, principalmente de arcillas y óxidos de hierro. 4- Cubetas de deflación. No obstante, es importante destacar que un proceso no descarta a los otros, por el contrario

pueden actuar de manera combinada, ya que la deflación se potencia en los espacios libres que dejan los escurrimientos en períodos secos, retrabajándolos y profundizándolos. Por otra parte, la dinámica geomorfológica de estas lagunas con el tiempo modela la cubeta de tal forma que enmascaran las formas originales.

En definitiva, el paisaje de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes es sumamente dinámico y en este marco, las lagunas no solo serían el principal elemento que lo componen, sino que además serían las principales responsables de la configuración del mismo.

8.1 Líneas futuras de investigación

A partir del desarrollo de la investigación realizada, surgen interrogantes que dan lugar a nuevas y futuras líneas de investigación relacionadas con las lomadas arenosas y sus lagunas.

Por ejemplo, surgen diversos puntos de interés acerca de, fundamentalmente, comparaciones temporales respecto a las dinámicas de las lagunas, tanto en procesos naturales, como en impactos generados por las actividades humanas.

Frente a lo expuesto, un primer objetivo a futuro sería estudiar las fluctuaciones de los niveles de agua de las lagunas en relación a eventos extremos de inundación y sequía. A su vez, dichos resultados podrían ser comparados con lagunas de otras regiones, cuyas condiciones climáticas difieran de las estudiadas y así establecer patrones generales relacionados a las respuestas de estos cuerpos de agua someros, así como particulares, asociados a la geología, geomorfología y clima propios de cada región.

De la idea anterior, surge también la posibilidad de clasificar a las lagunas según la temporalidad de sus aguas, ya que, como se ha señalado en esta investigación, las lagunas semipermanentes son las que se encuentran más expuestas a impactos antrópicos.

Desde otra perspectiva, las lagunas y sus cubetas, constituyen un riesgo potencial de anegamiento en áreas urbanas y periurbanas cuando las ciudades de la región avanzan sobre las lomadas arenosas, de acuerdo con el crecimiento espacial de sus respectivos ejidos urbanos, usualmente no planificado o impulsado por intereses inmobiliarios.

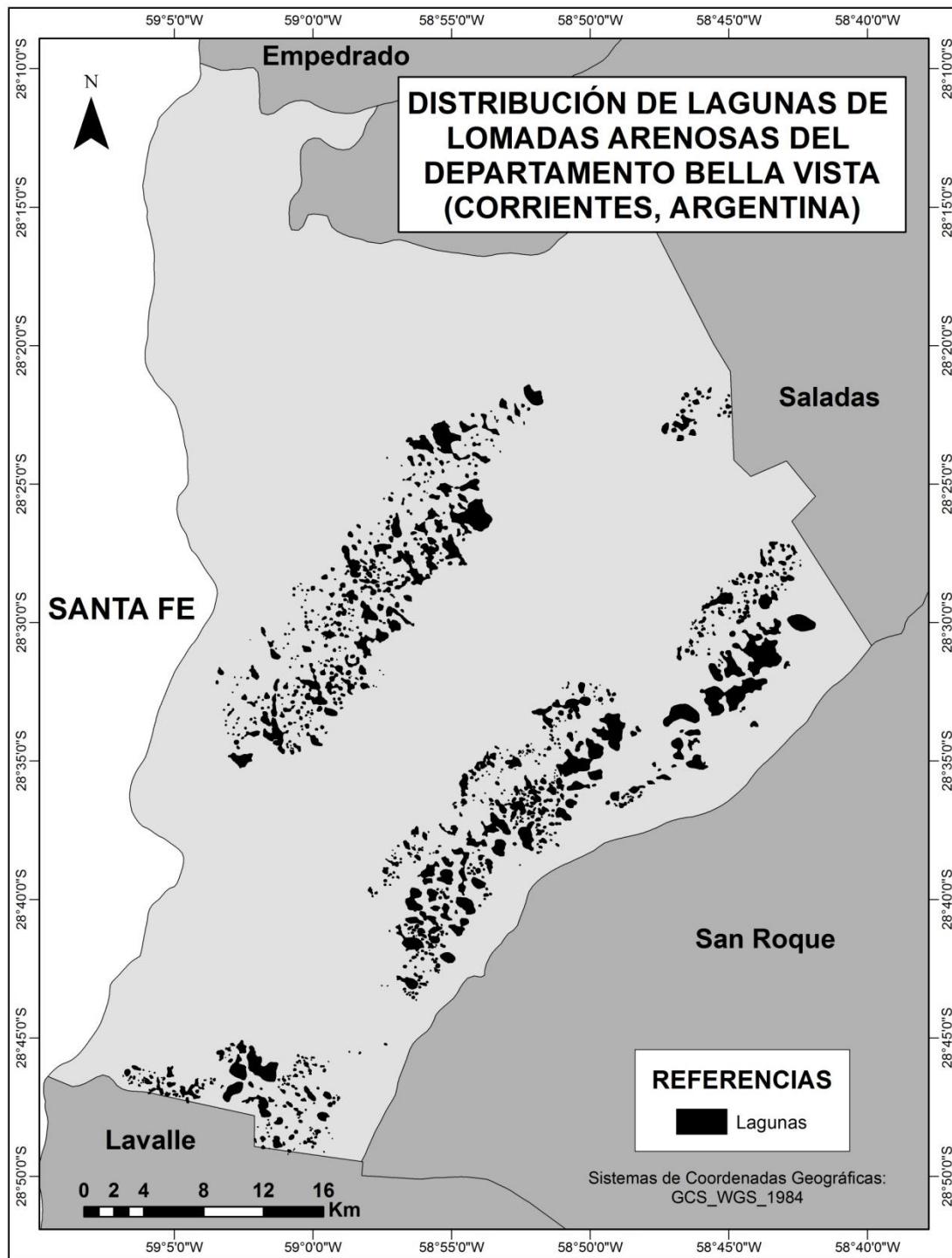
Se ha destacado la incidencia de la topografía en la configuración del paisaje de lomadas arenosas. En este sentido, es necesario realizar estudios sobre los efectos topográficos en las características del agua de las lagunas. La presencia de pequeños conos deltaicos permite dar cuenta del traspaso de sedimentos de un cuerpo de agua al otro. De ocurrir esto, la laguna que recibe los sedimentos con el tiempo se irá colmatando y comenzarán los procesos de extinción. Por tal motivo sería interesante conocer cómo estos procesos repercuten en la calidad del agua, ya que un aporte de sedimentos, por ejemplo, modificaría los valores de la conductividad eléctrica de la laguna.

Si bien no ha sido el objeto del presente trabajo determinar el origen de estas lagunas, se han realizado aportes de revisión bibliográfica sobre el tema y se considera de interés profundizar los estudios orientados a determinar los procesos que interactúan en la génesis de las mismas. Para ello, uno de los puntos de partida, puede ser considerar que la forma que adquieren estos cuerpos de agua someros no responde a un único proceso formador, sino más bien a sus dinámicas naturales derivadas de la sucesión de períodos húmedos y secos. Se considera asimismo de interés poder indagar acerca de la participación del hierro en estado soluble y la pérdida de materiales finos en la generación de espacios vacíos que posteriormente colapsan, ya que ésto podría ser parte de las claves para generar un paisaje similar al kárstico o, en otras palabras, un paisaje pseudokárstico.

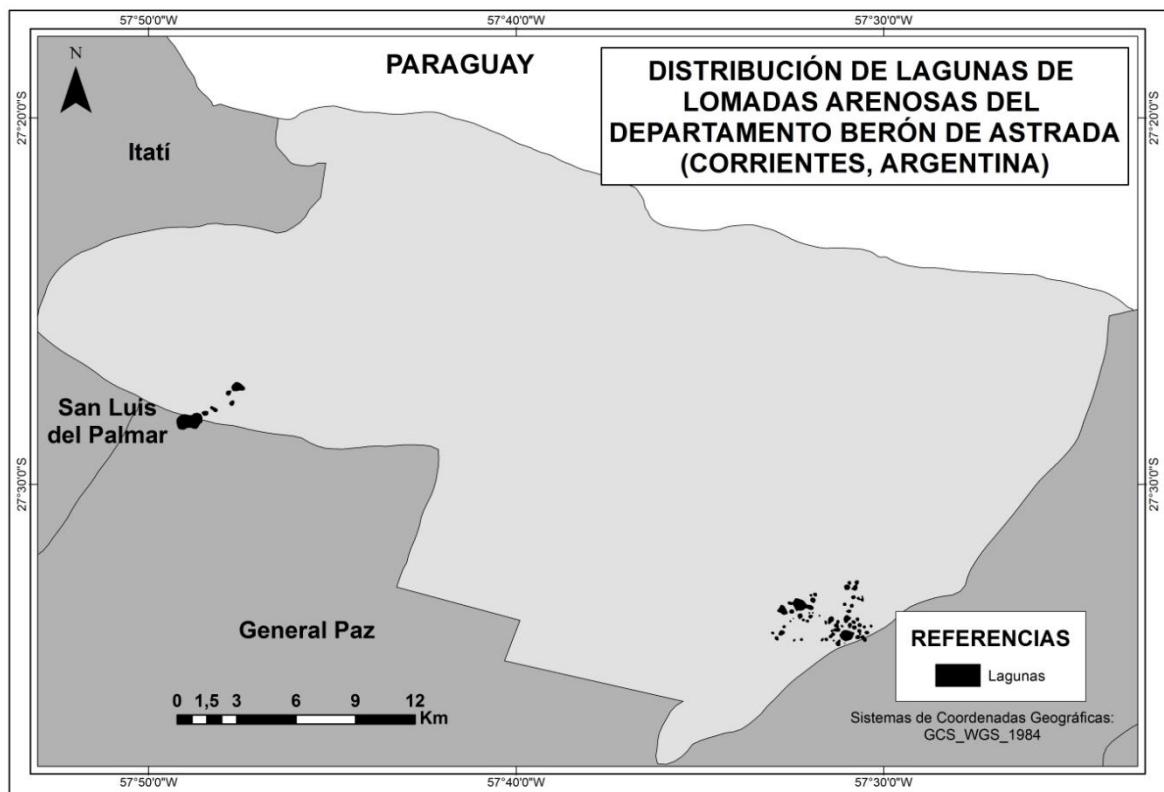
Una última línea a tener en cuenta, que se plantea momentáneamente a partir de este trabajo, es la referida a los impactos ambientales que se encuentran relacionados con las actividades económicas de la población, en particular en este caso, con la actividad forestal, desde la implantación de bosques hasta las industrias derivadas, ya que no sólo contribuyen a la extinción de las lagunas, sino que impactan sobre la totalidad del paisaje de lomadas en general.

Anexos

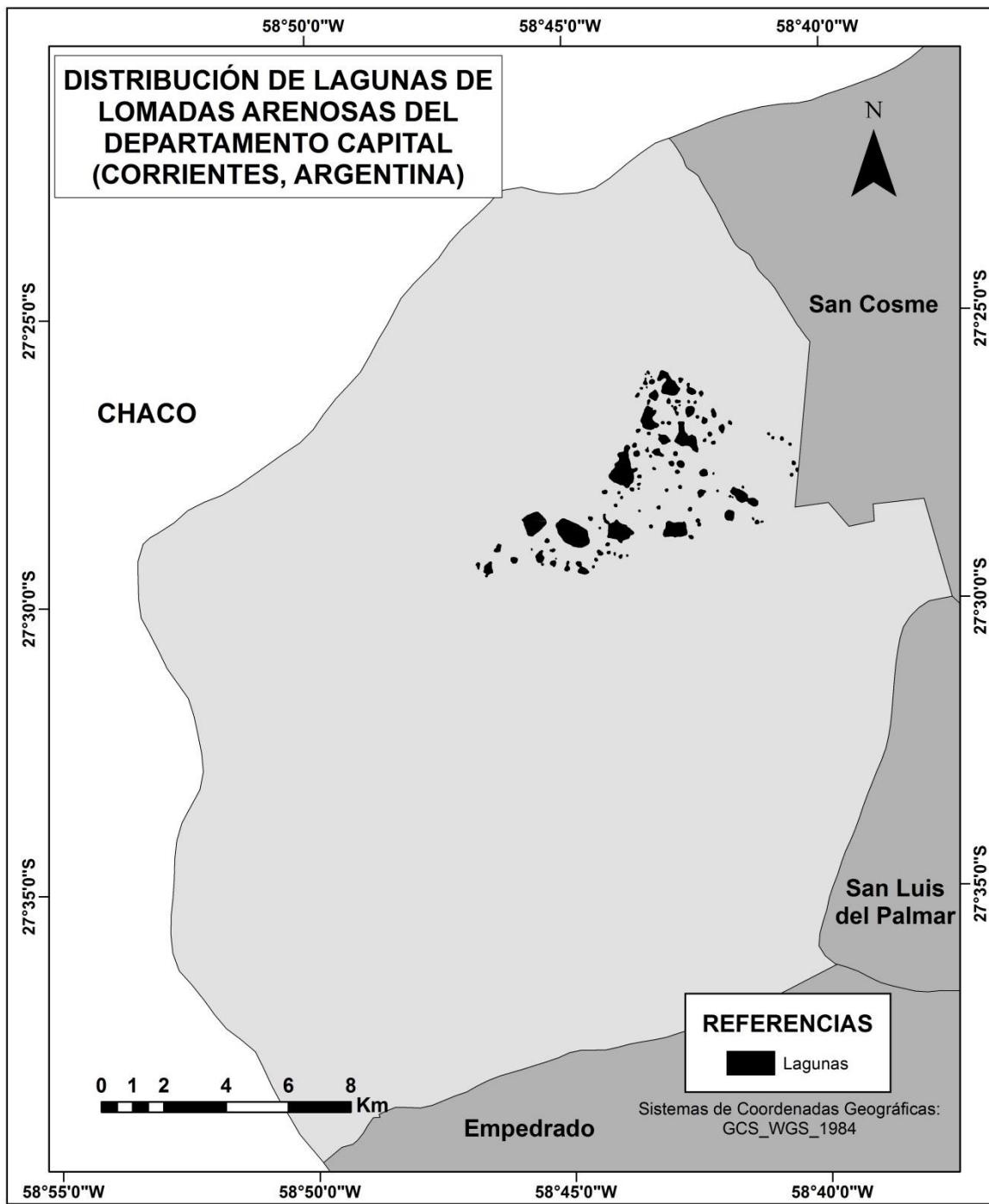
Anexo 1 Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Bella Vista (Corrientes, Argentina)



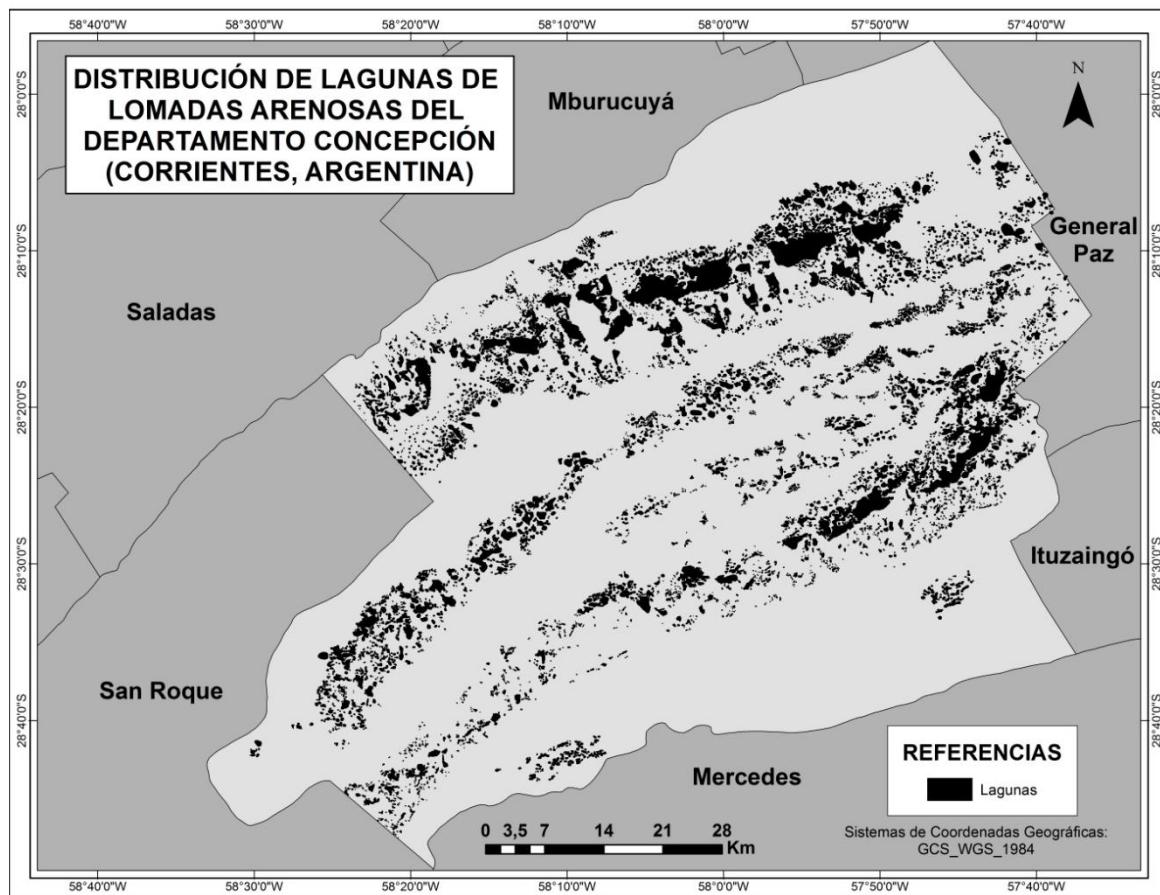
Anexo 2. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Berón de Astrada (Corrientes, Argentina)



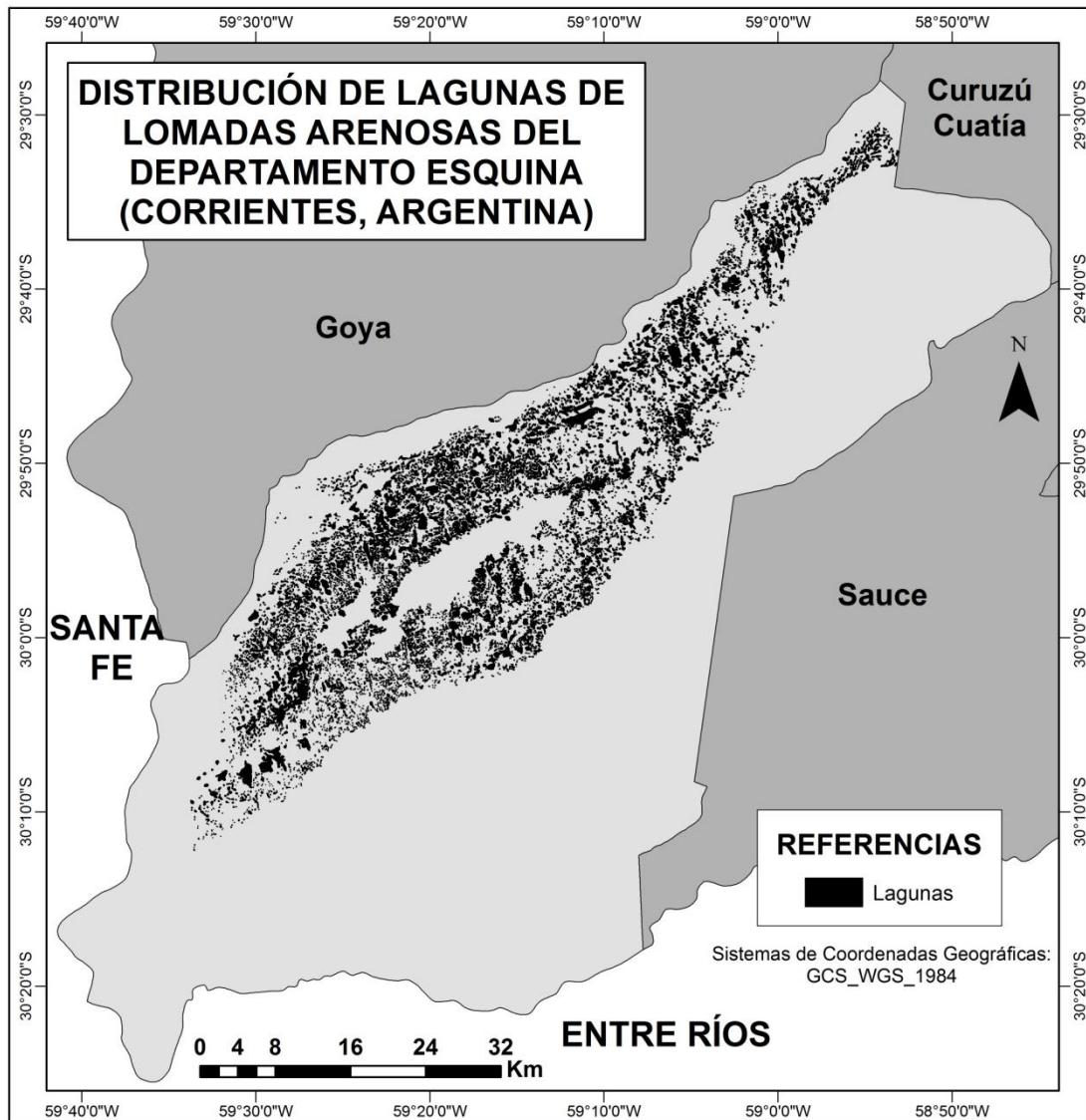
**Anexo 3. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Capital
(Corrientes, Argentina)**



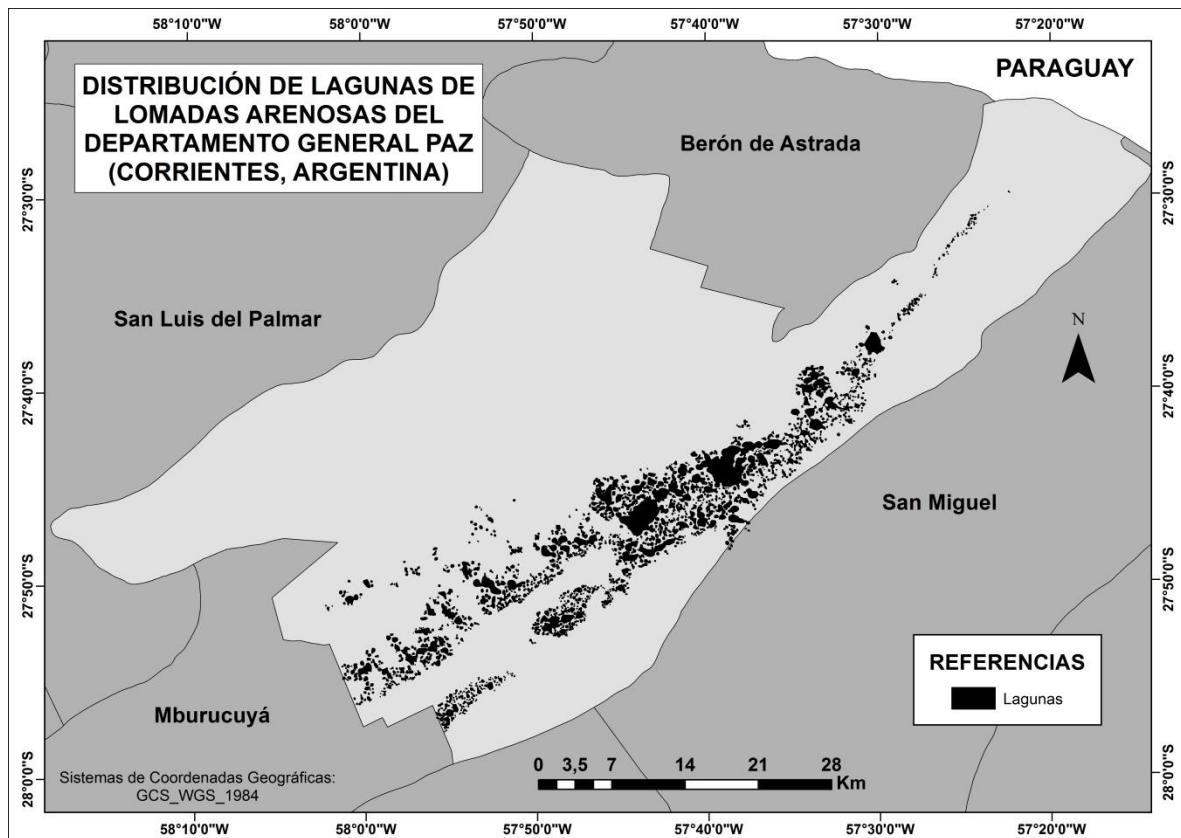
Anexo 4. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Concepción (Corrientes, Argentina)



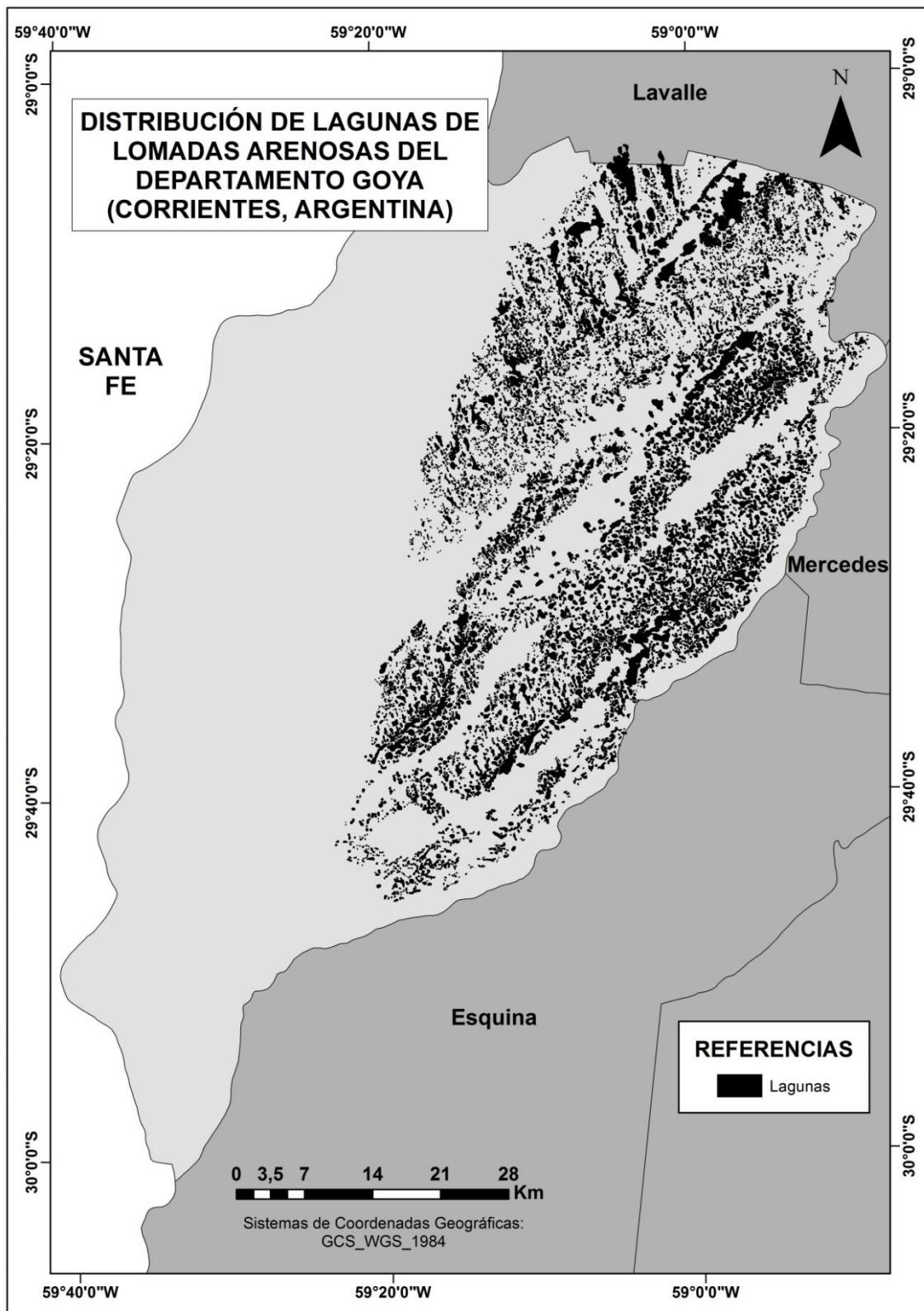
**Anexo 5. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Esquina
(Corrientes, Argentina)**



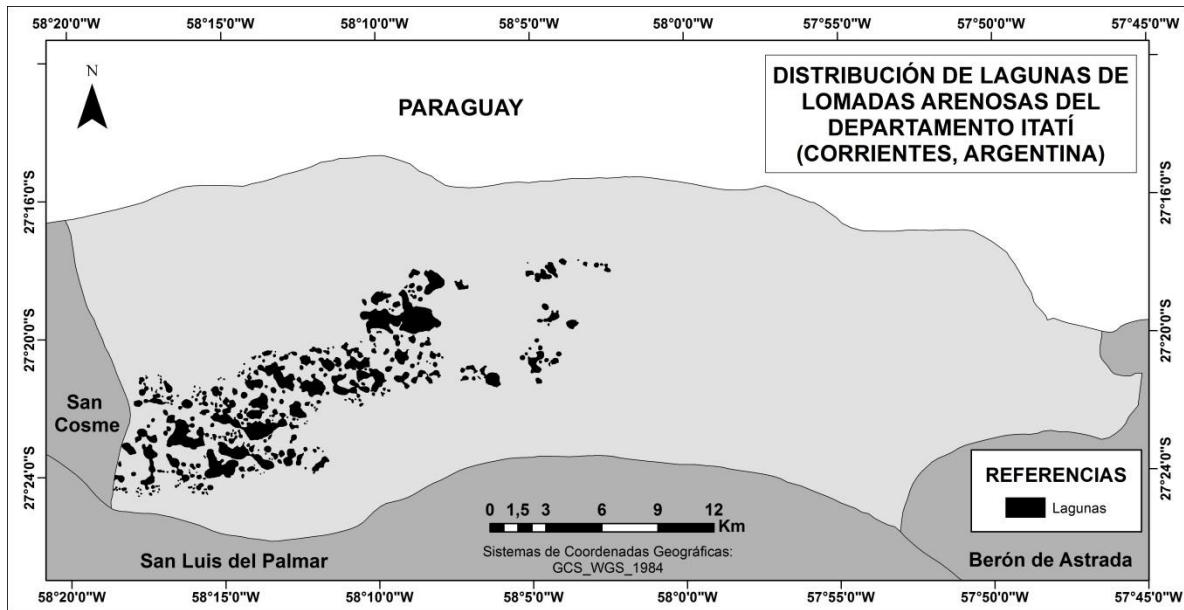
Anexo 6. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento General Paz (Corrientes, Argentina)



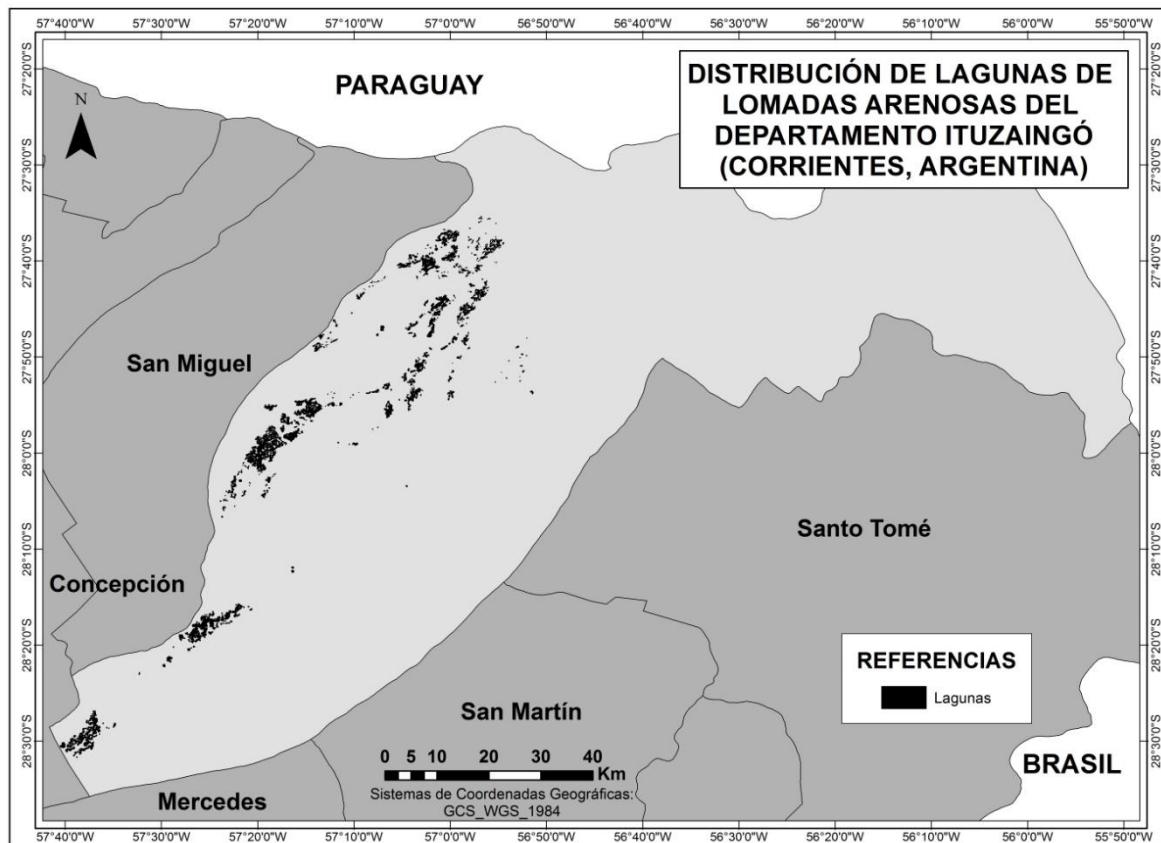
**Anexo 7. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Goya
(Corrientes, Argentina)**



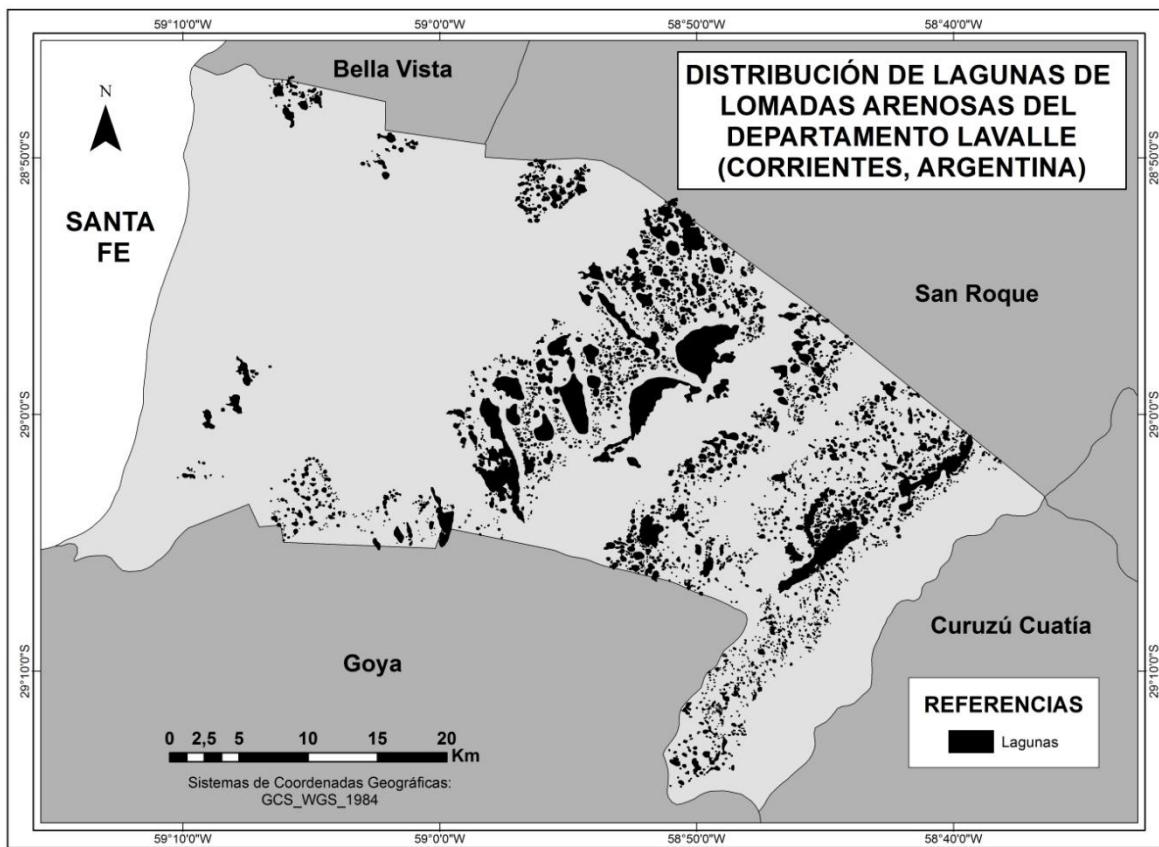
Anexo 8. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Itatí (Corrientes, Argentina)



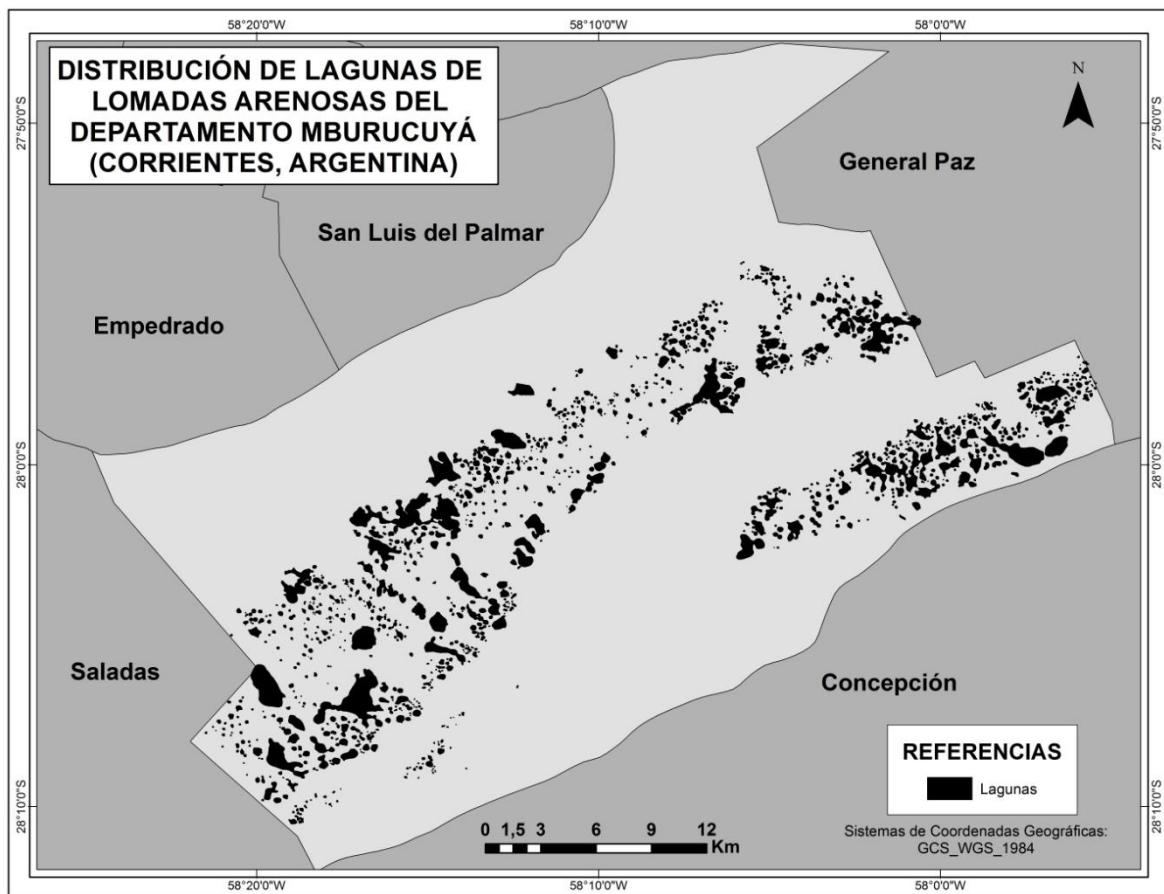
Anexo 9. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Ituzaingó (Corrientes, Argentina)



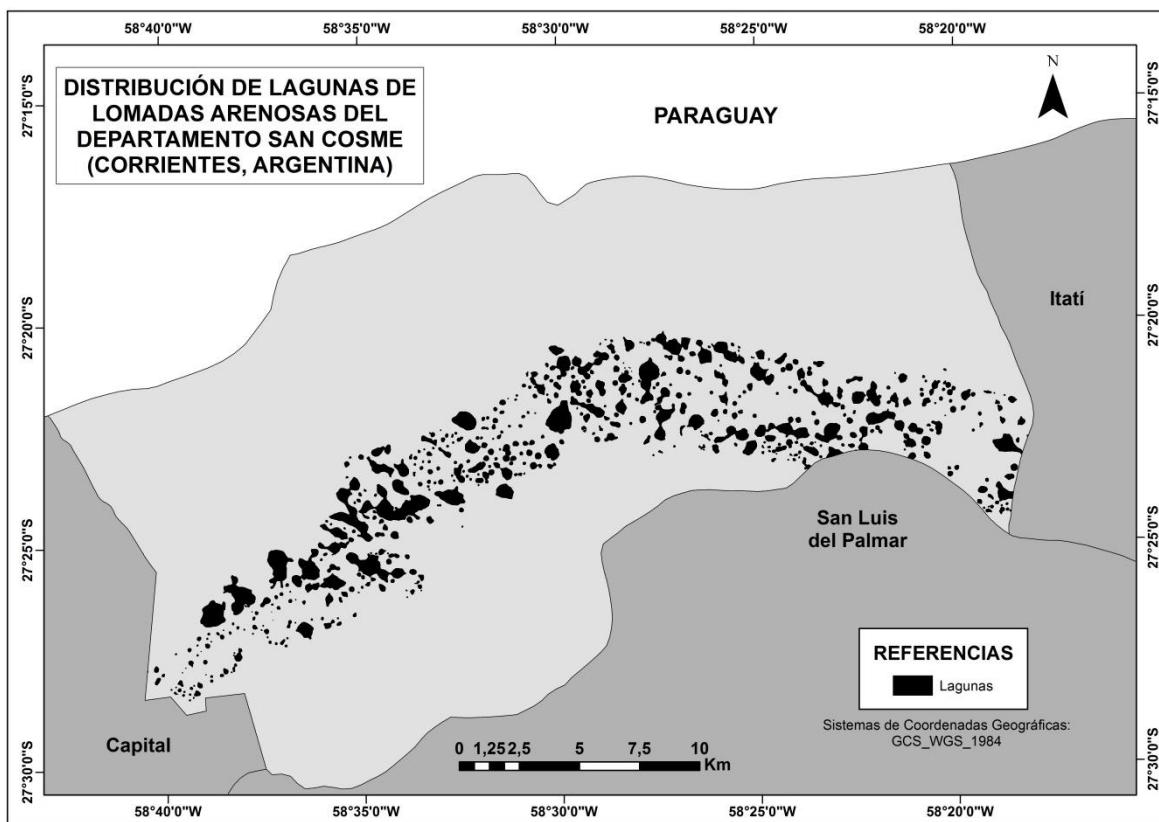
Anexo 10. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Lavalle (Corrientes, Argentina)



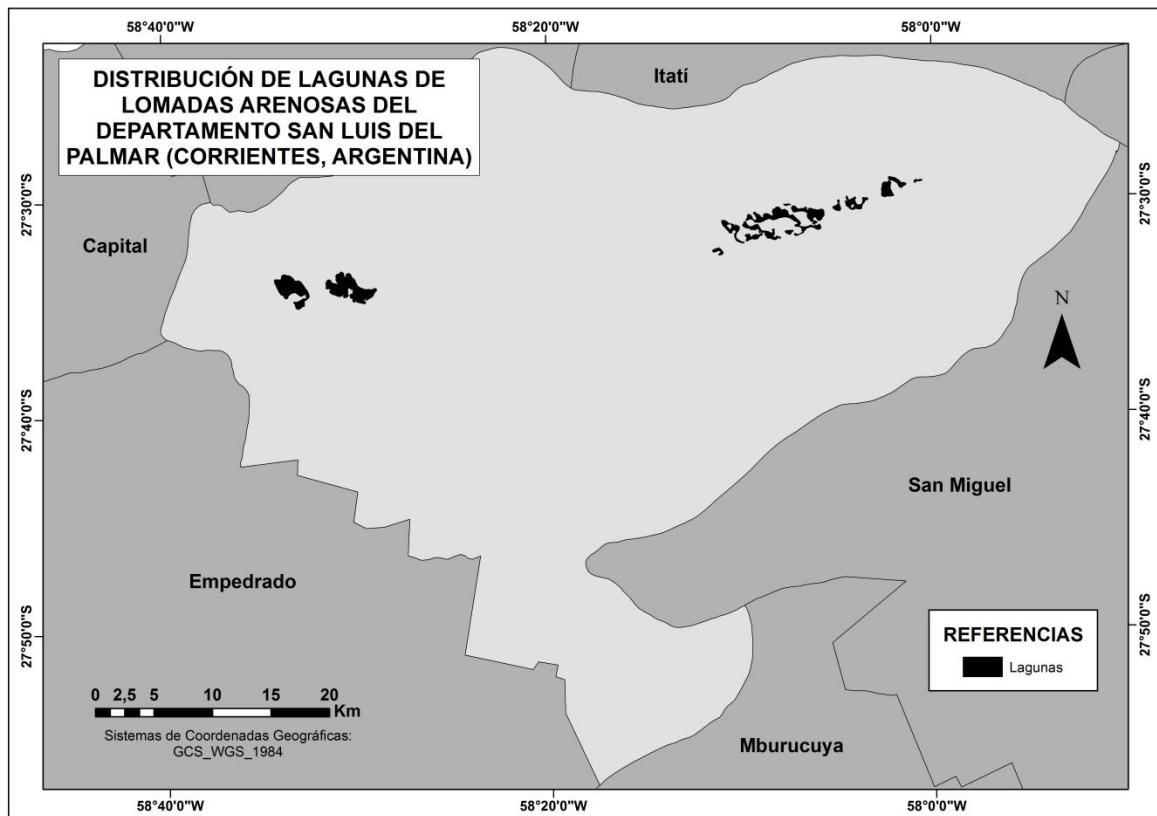
Anexo 11. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Mburucuyá (Corrientes, Argentina)



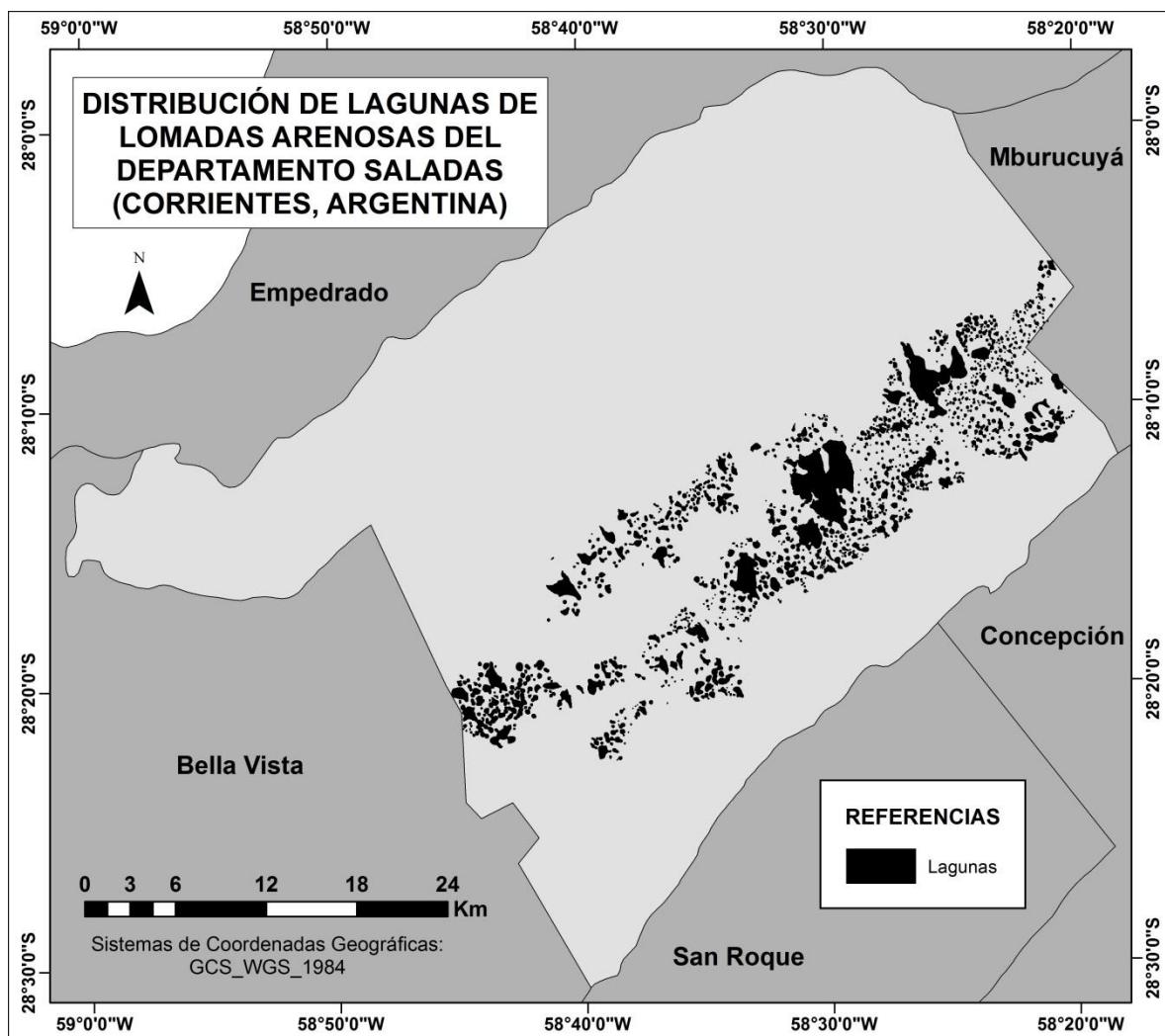
Anexo 12. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento San Cosme (Corrientes, Argentina)



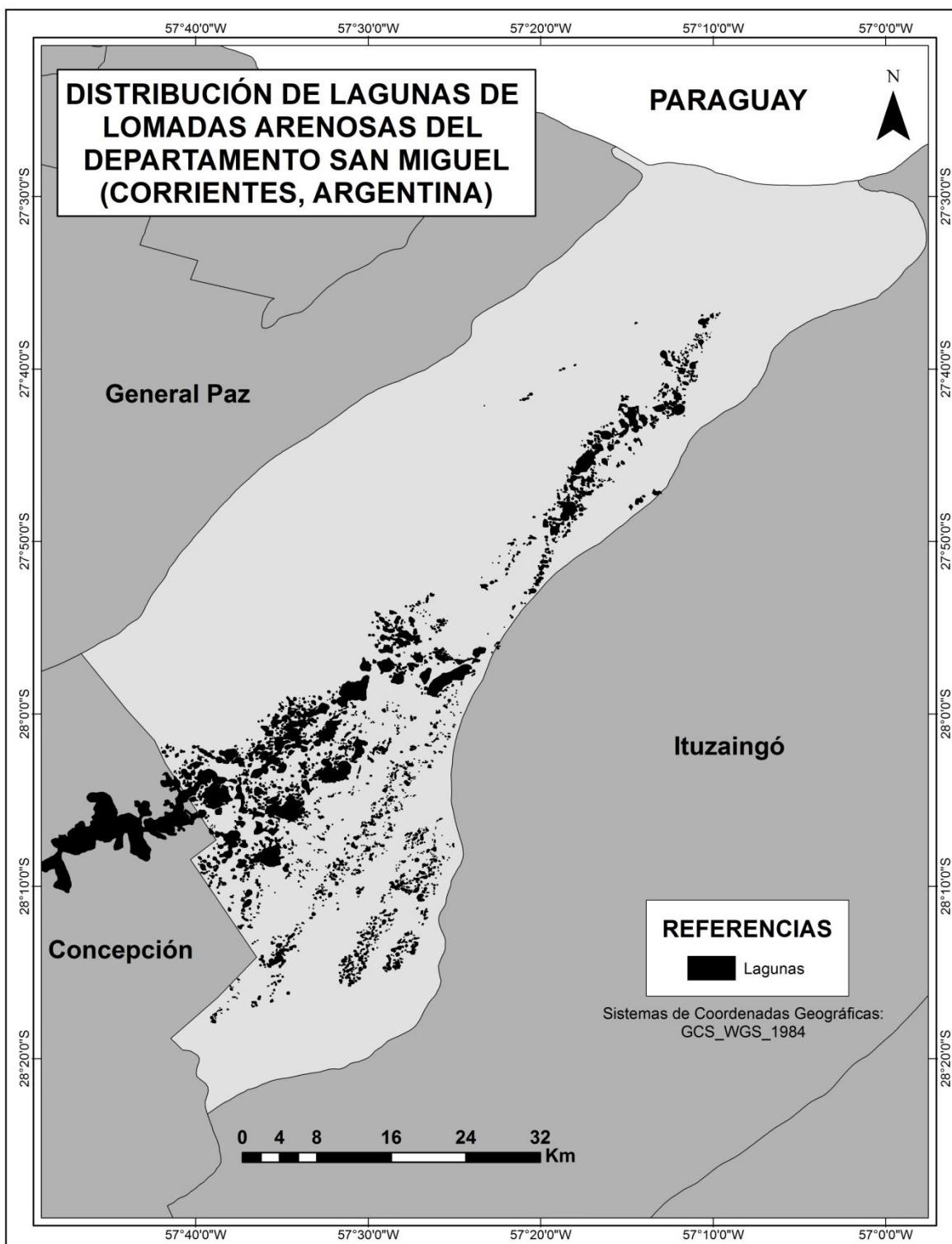
Anexo 13. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento San Luis del Palmar (Corrientes, Argentina)



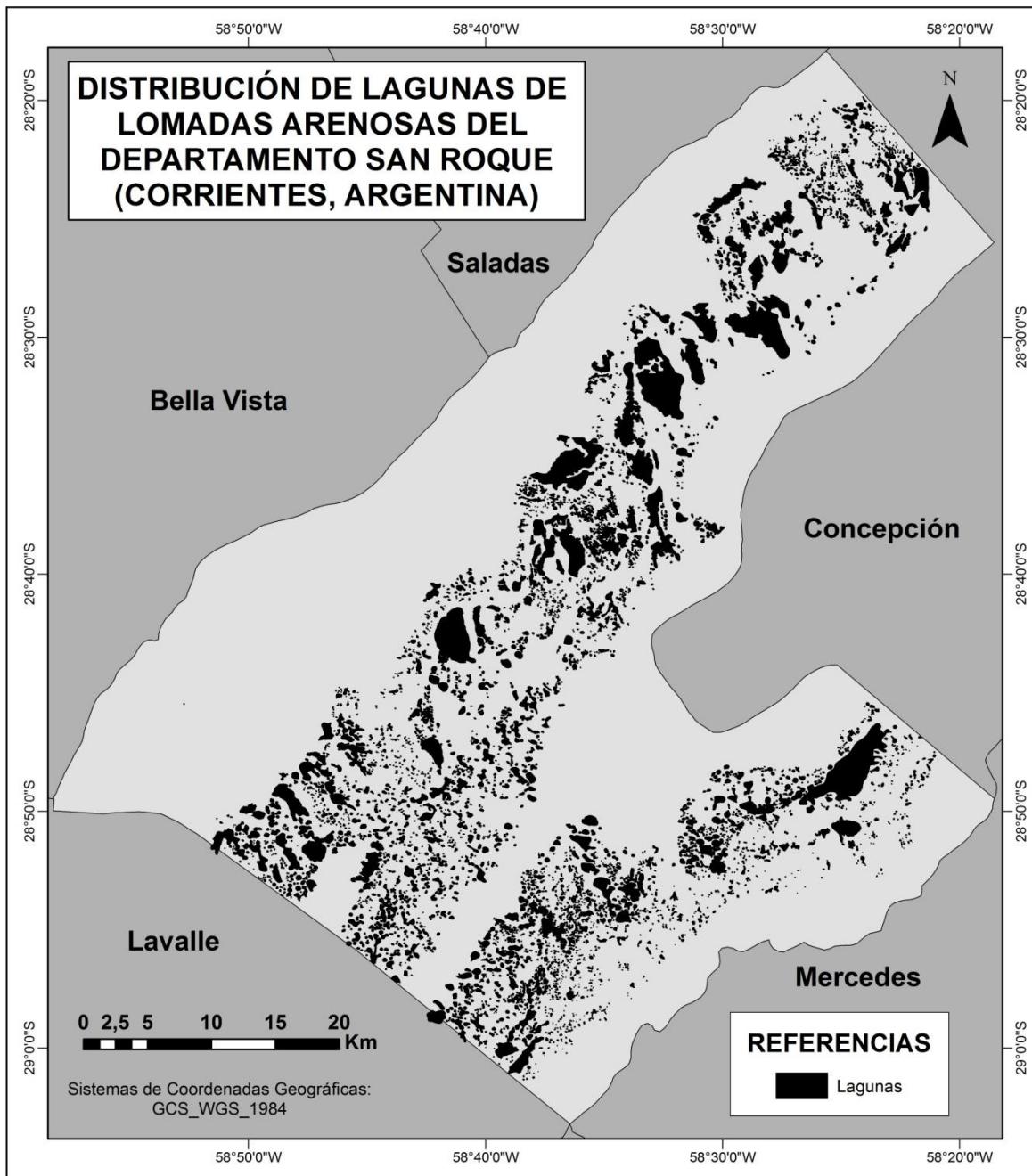
Anexo 14. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento Saladas (Corrientes, Argentina)



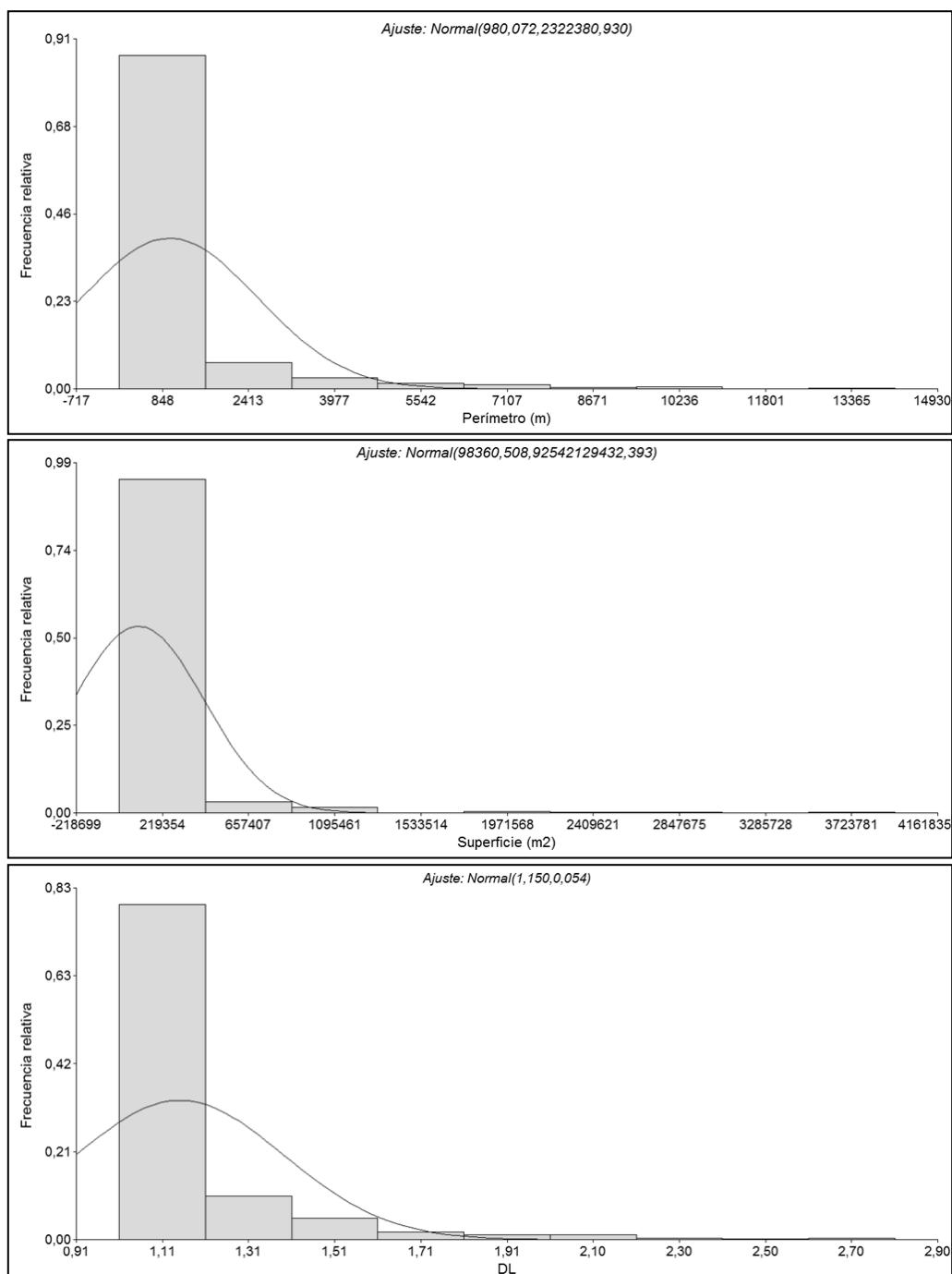
Anexo 15. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento San Miguel (Corrientes, Argentina)



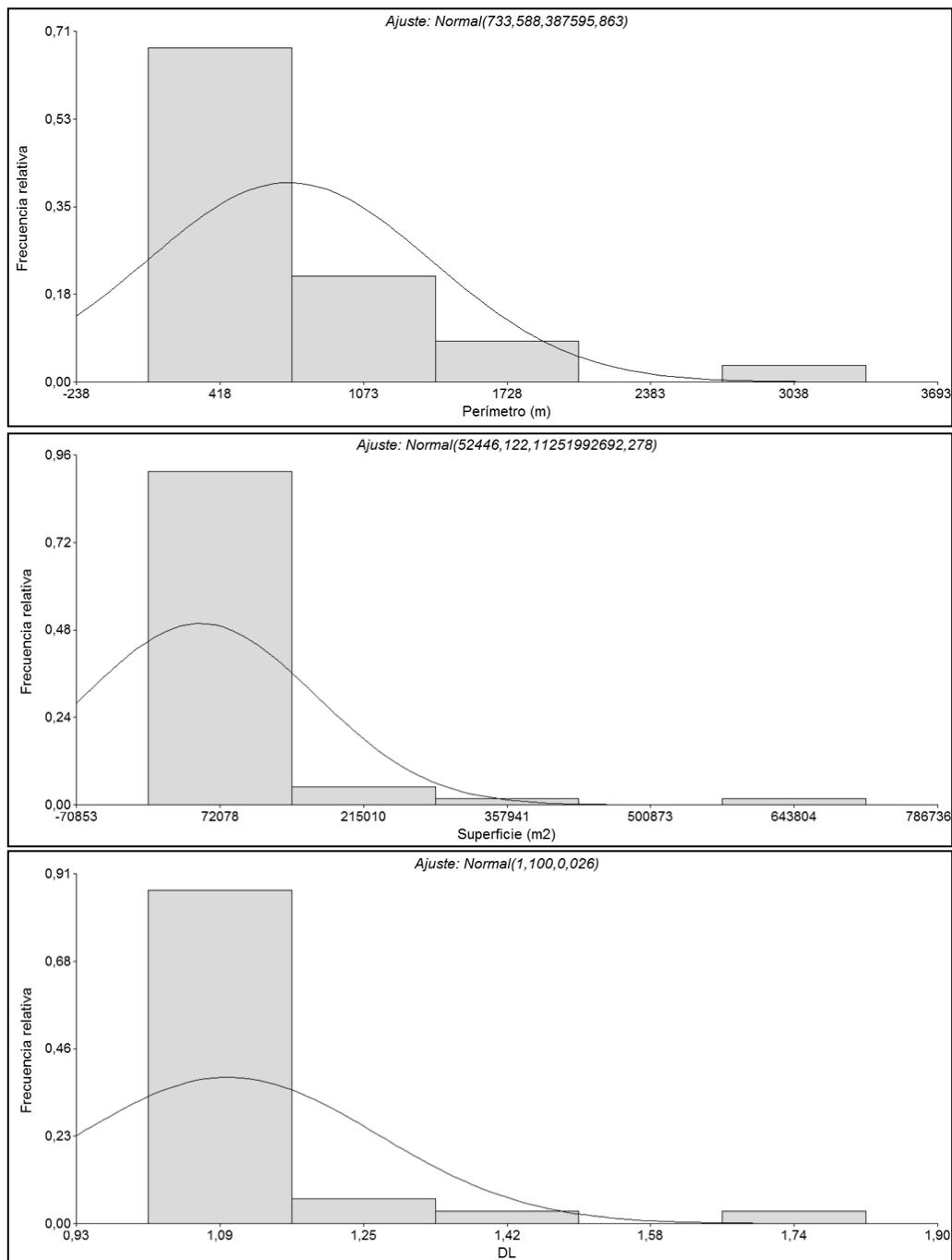
Anexo 16. Distribución de lagunas de lomadas arenosas del Departamento San Roque (Corrientes, Argentina)



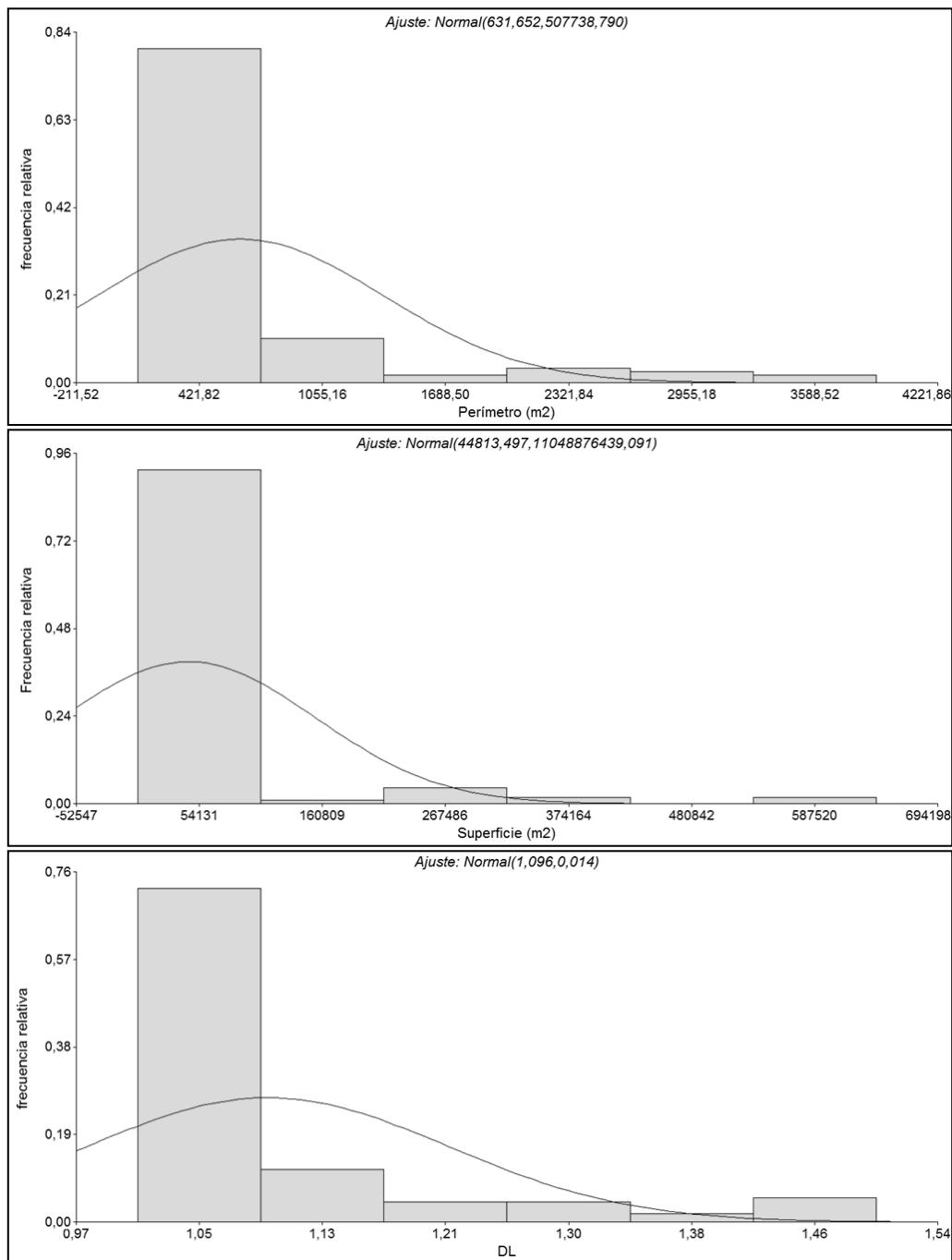
Anexo 17. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Bella Vista (Corrientes, Argentina)



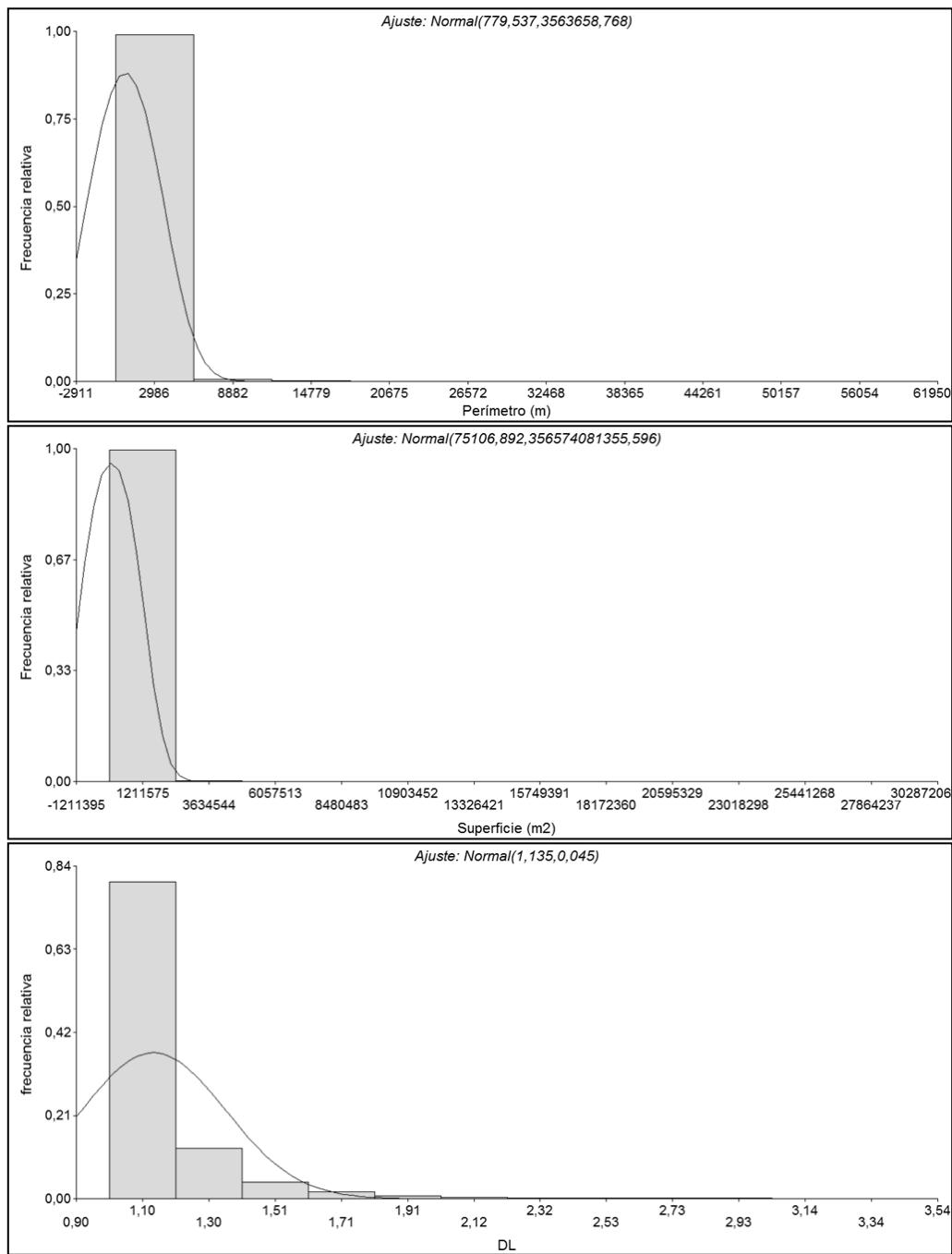
Anexo 18. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Berón de Astrada (Corrientes, Argentina)



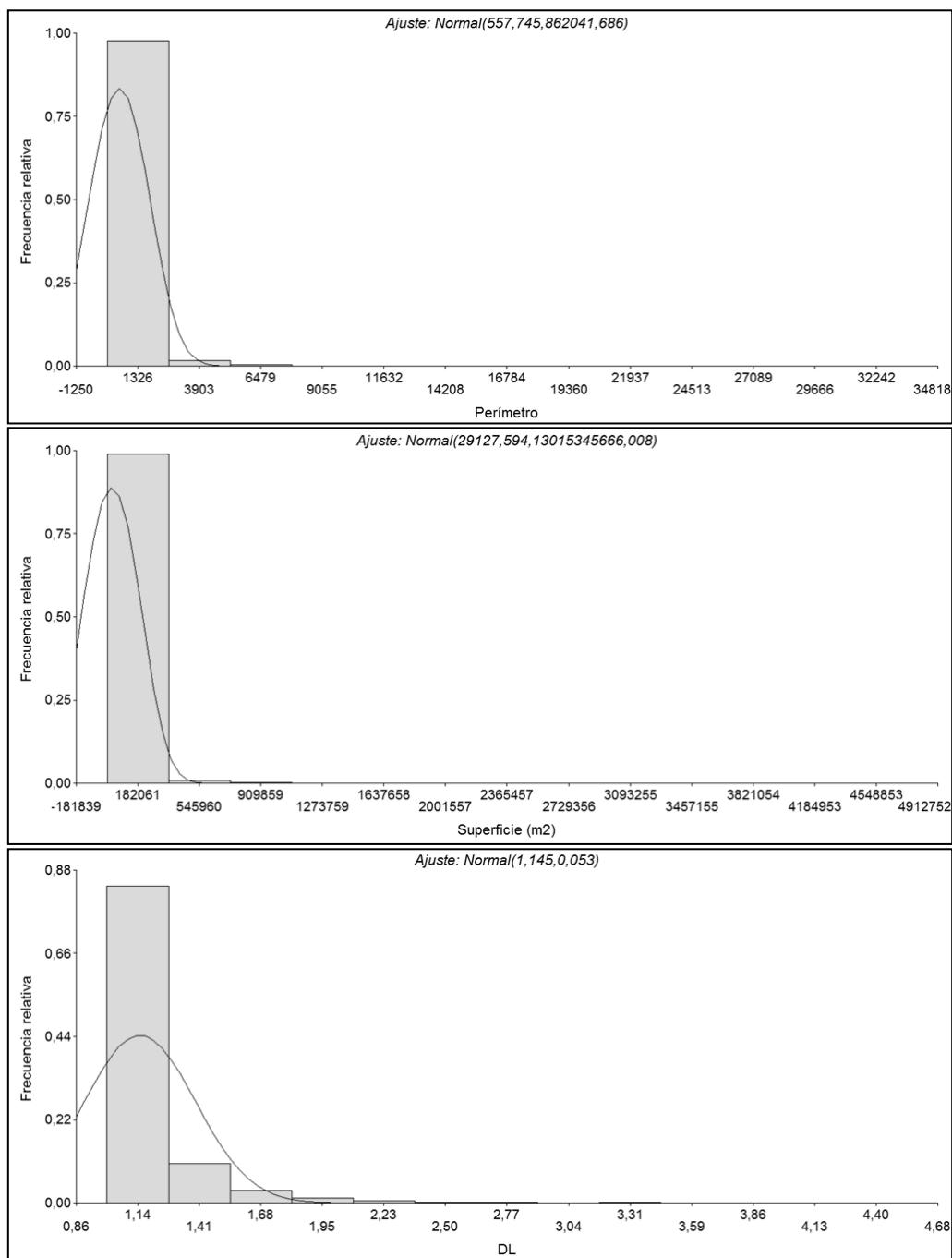
Anexo 19. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Berón de Astrada (Corrientes, Argentina)



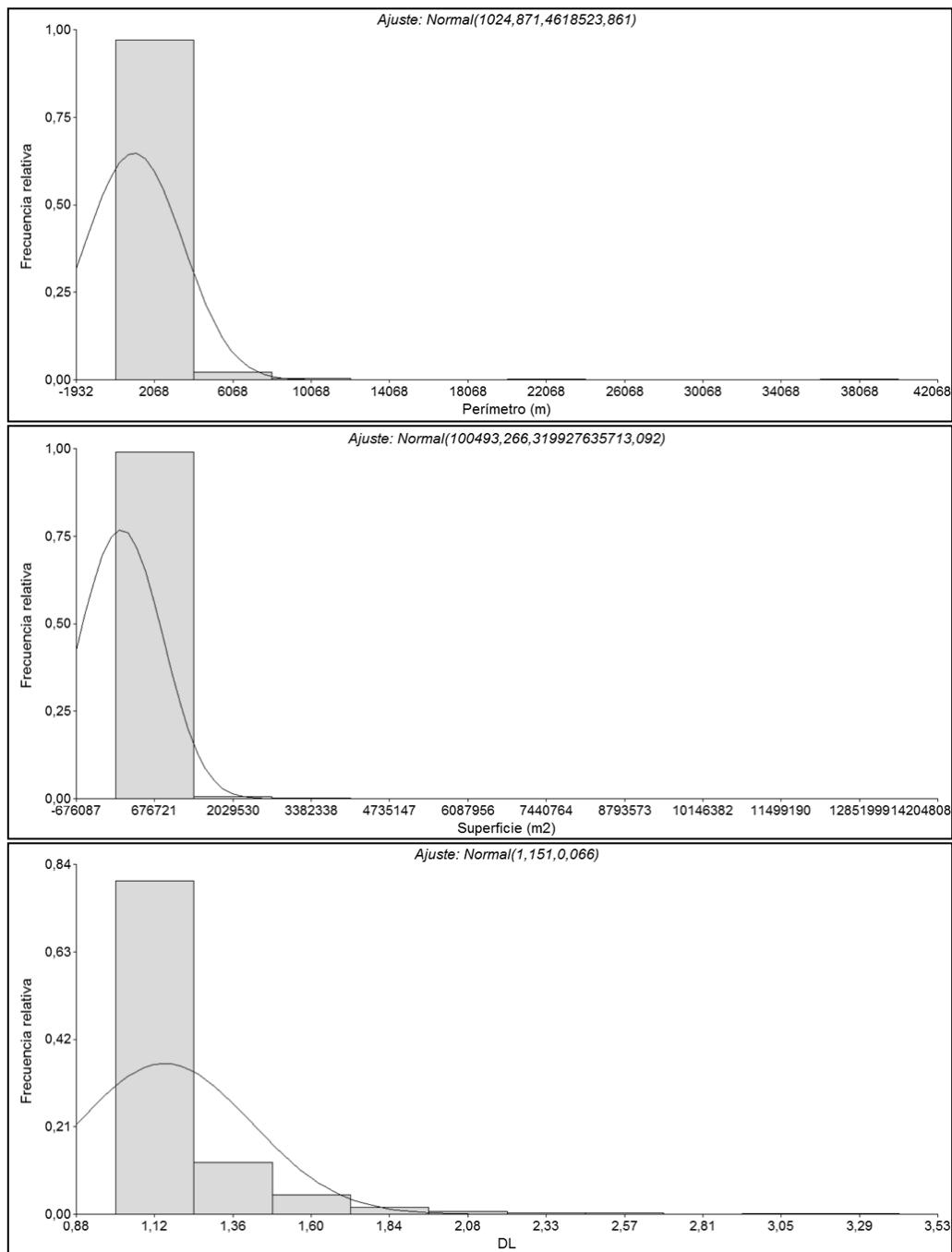
**Anexo 20 Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Concepción
(Corrientes, Argentina)**



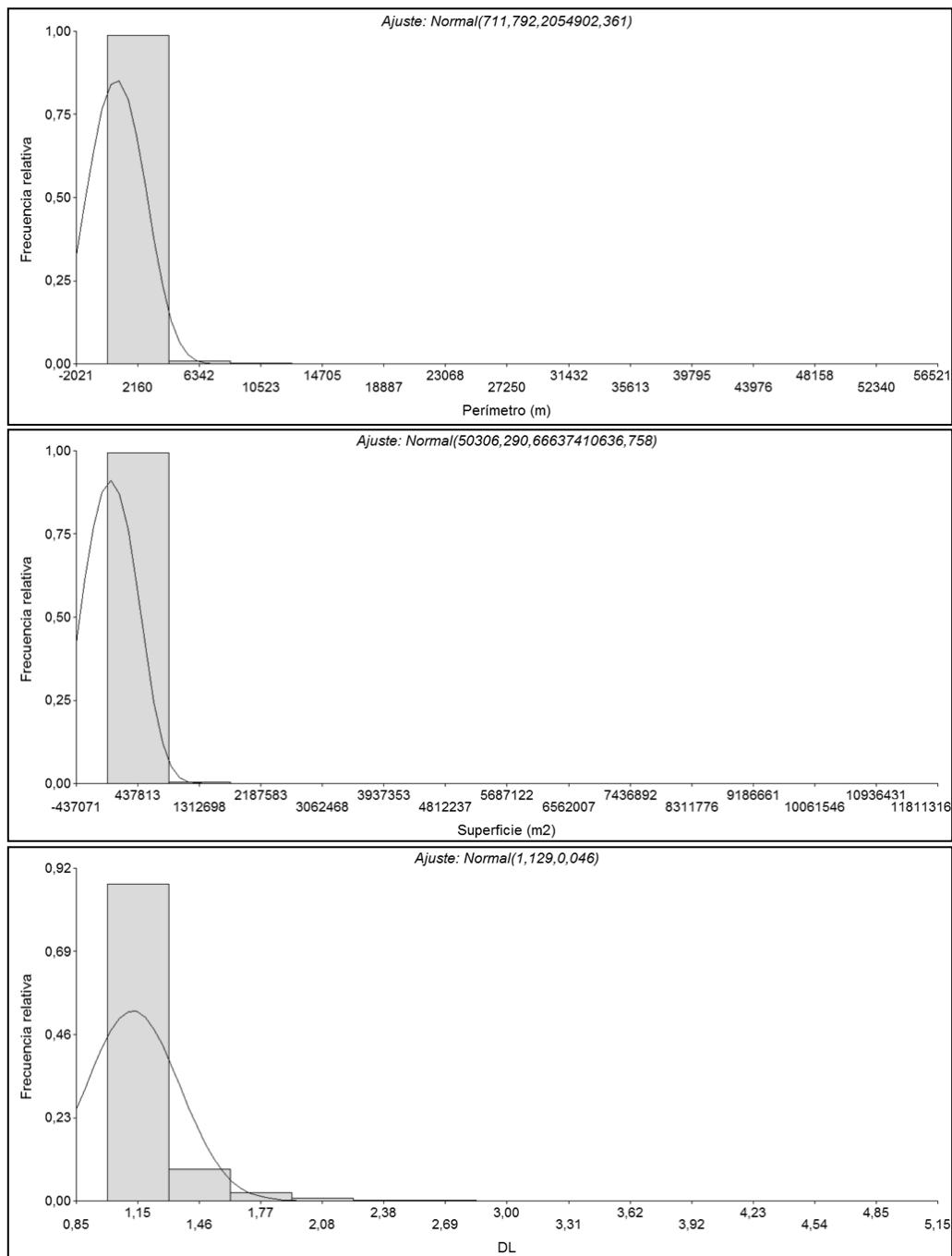
Anexo 21. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Esquina (Corrientes, Argentina)



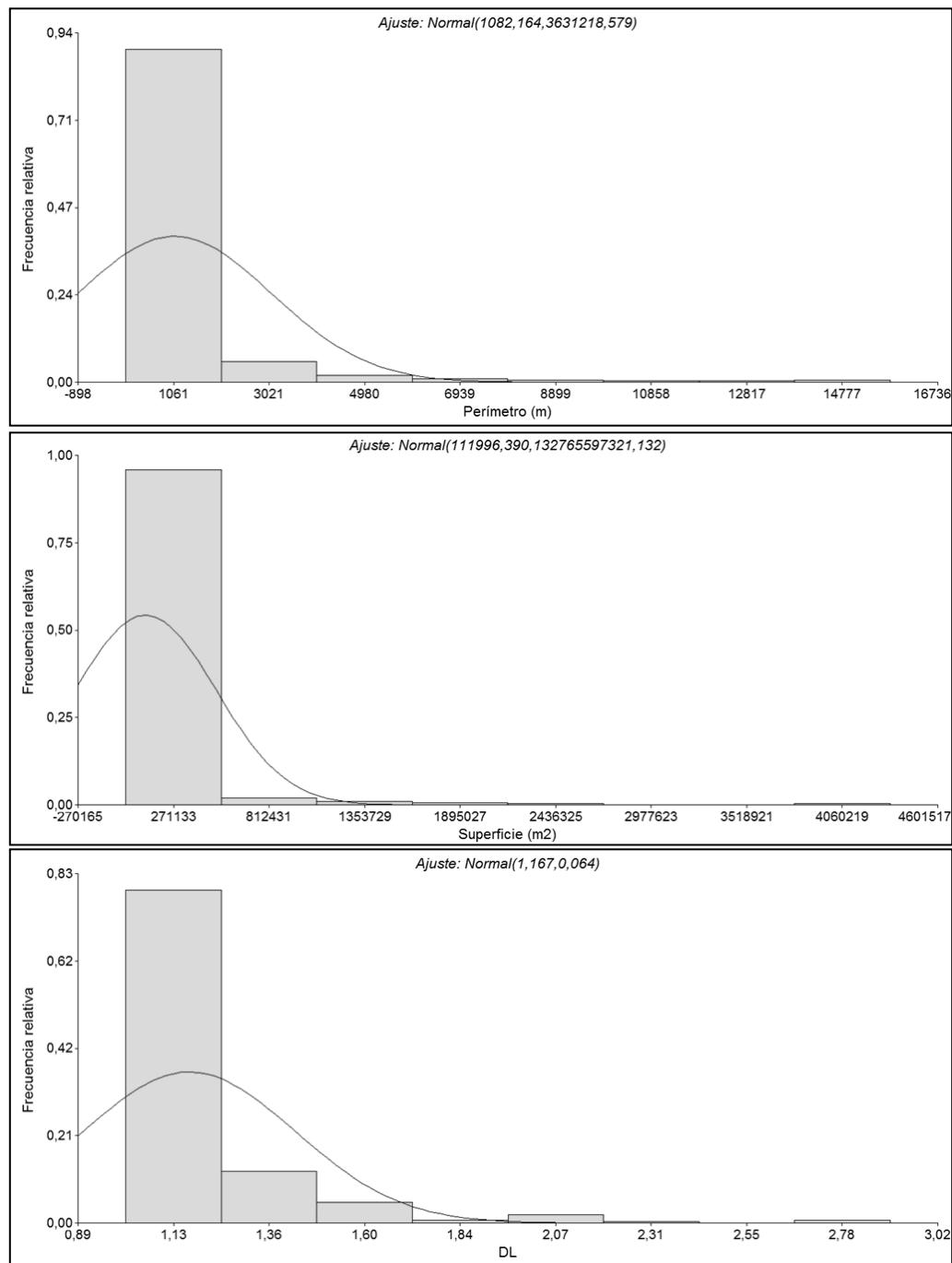
**Anexo 22. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de General Paz
(Corrientes, Argentina)**



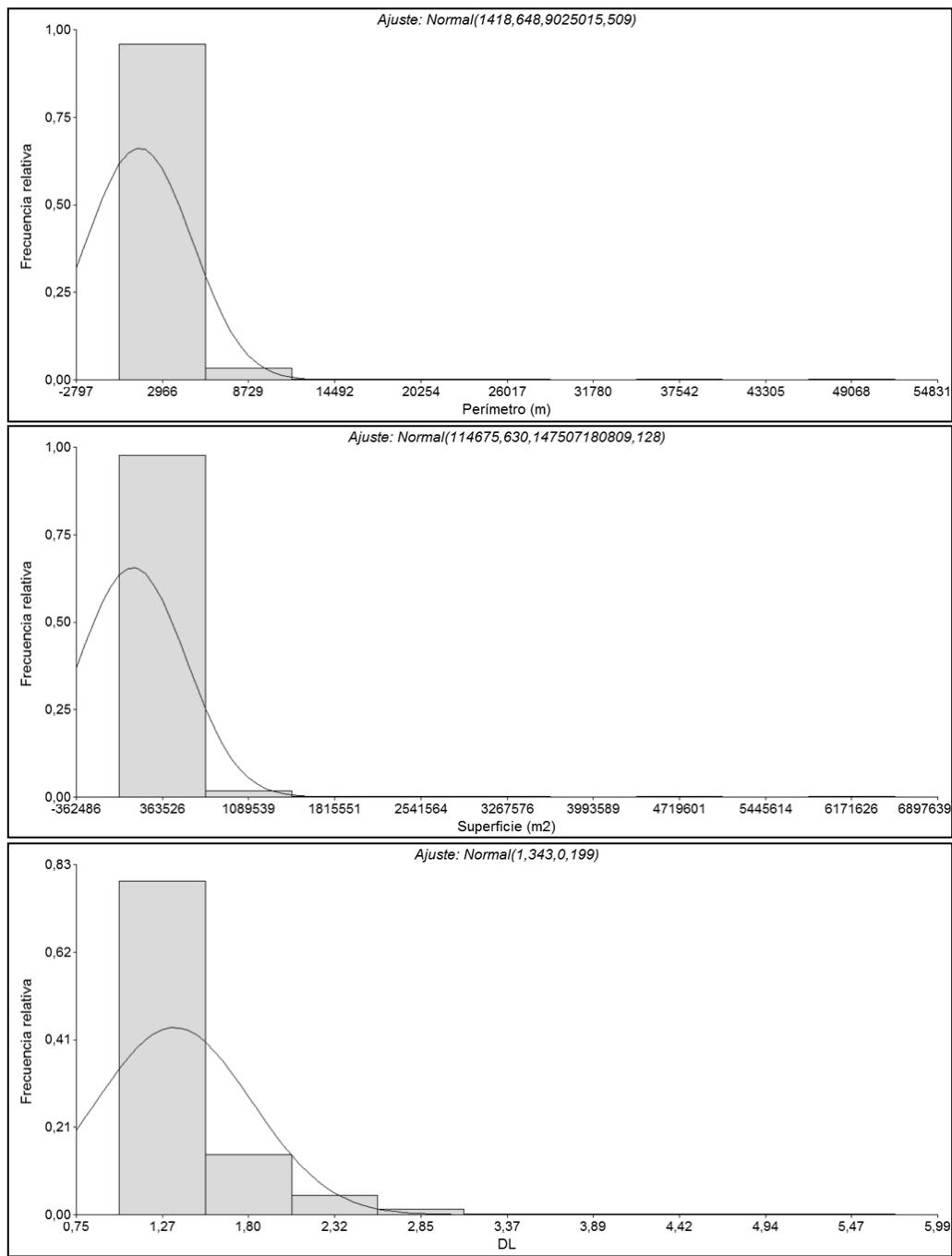
**Anexo 23. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Goya
(Corrientes, Argentina)**



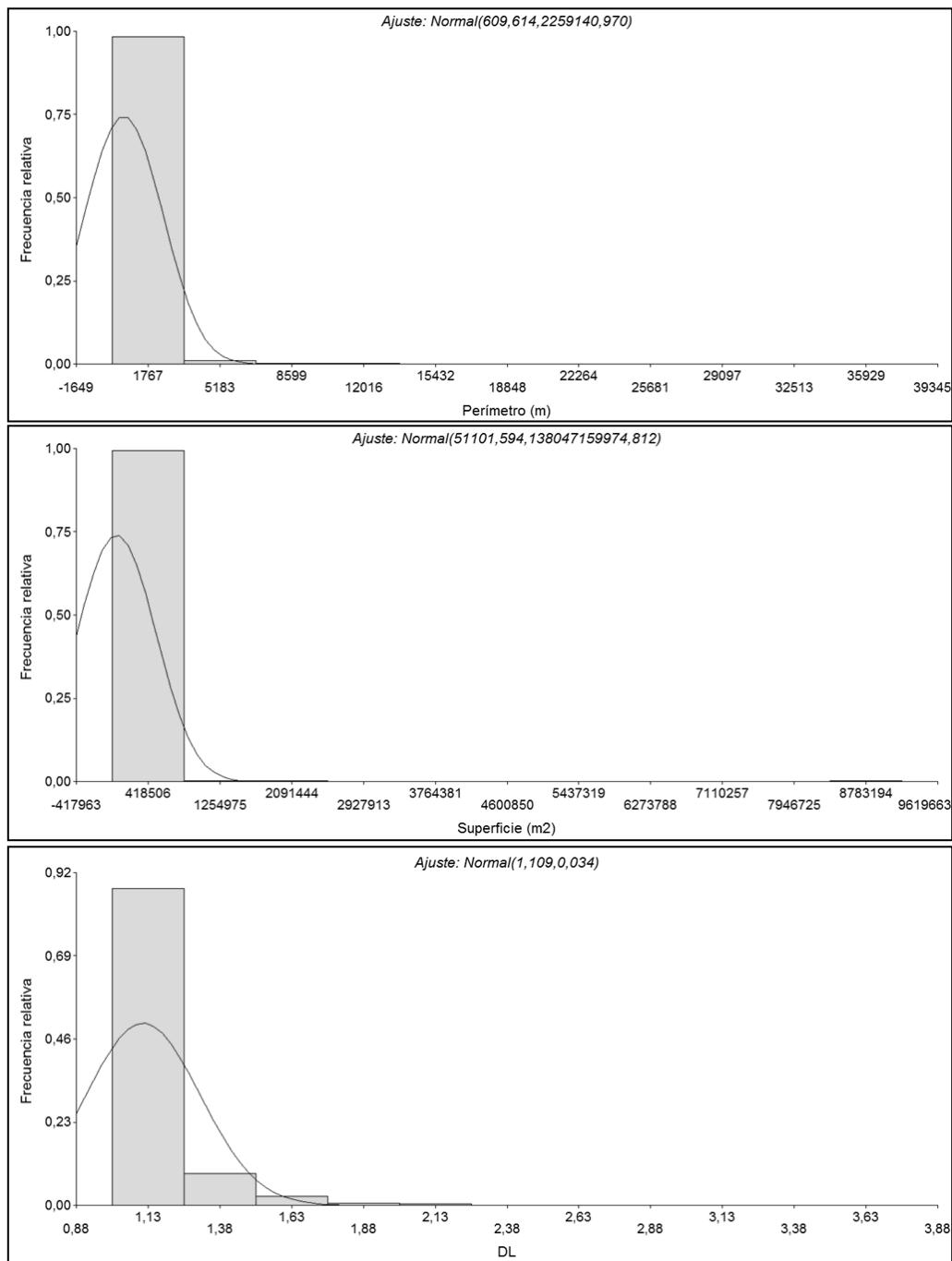
**Anexo 24. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Goya
(Corrientes, Argentina)**



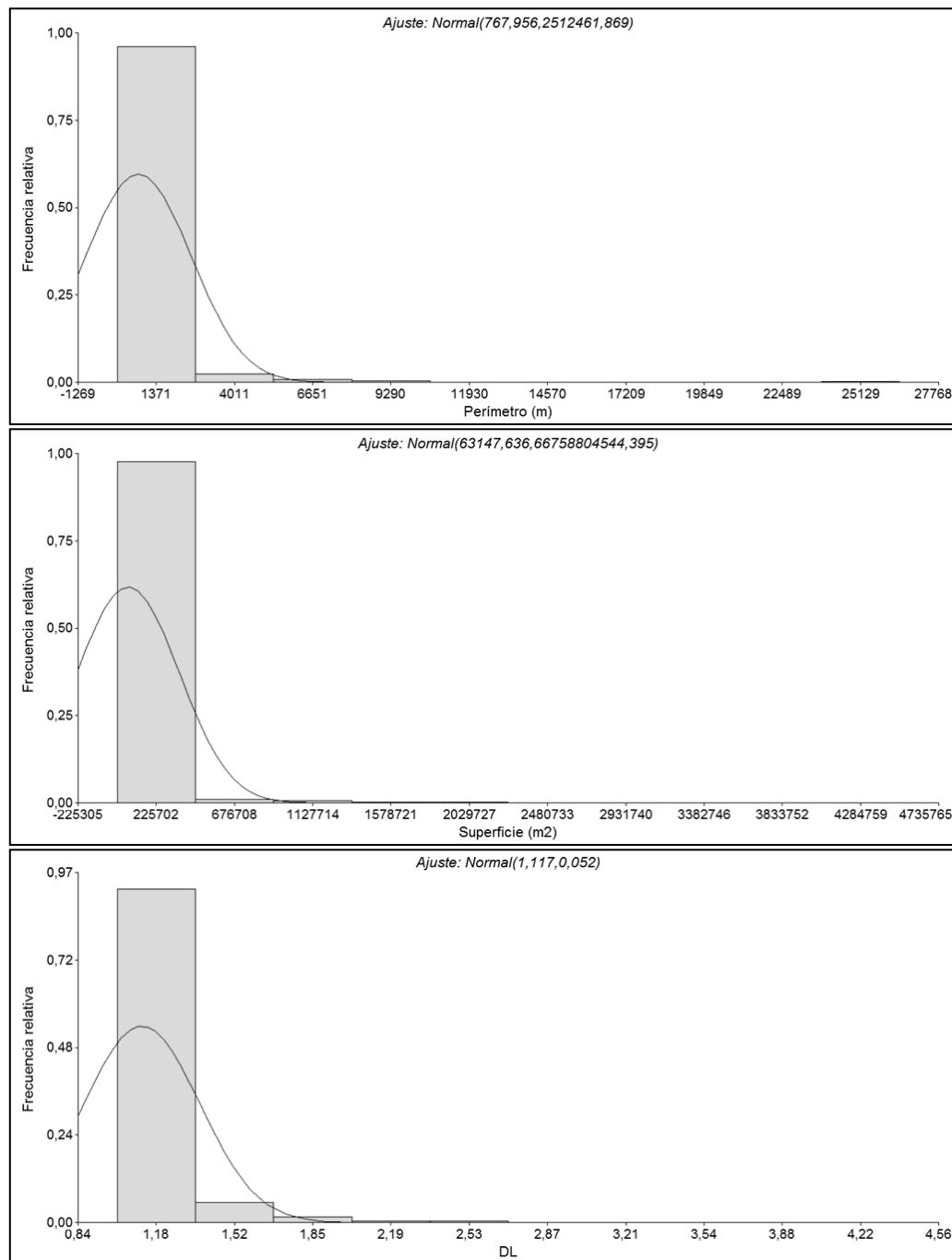
Anexo 25. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Itzaingó (Corrientes, Argentina)



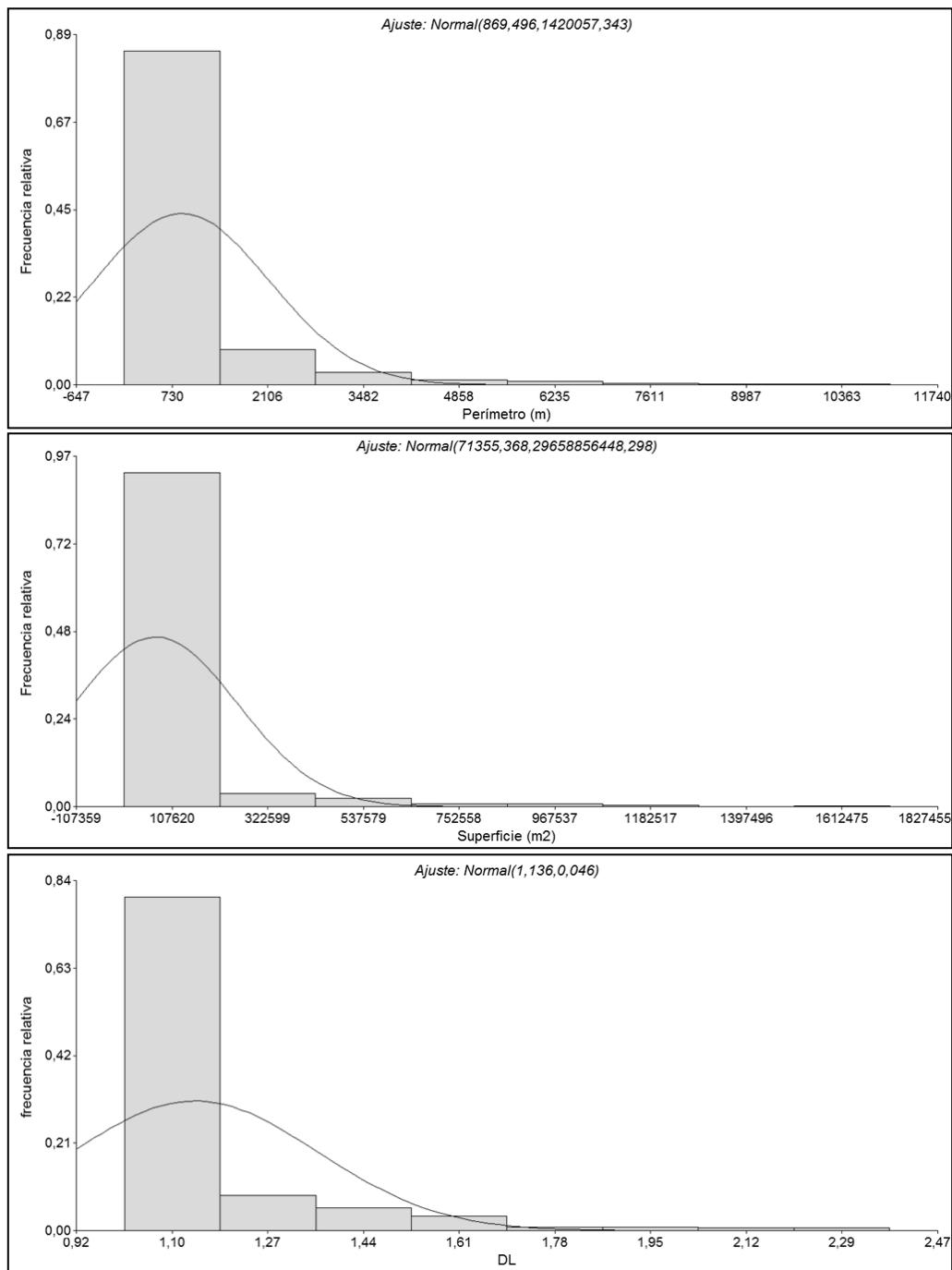
**Anexo 26. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Lavalle
(Corrientes, Argentina)**



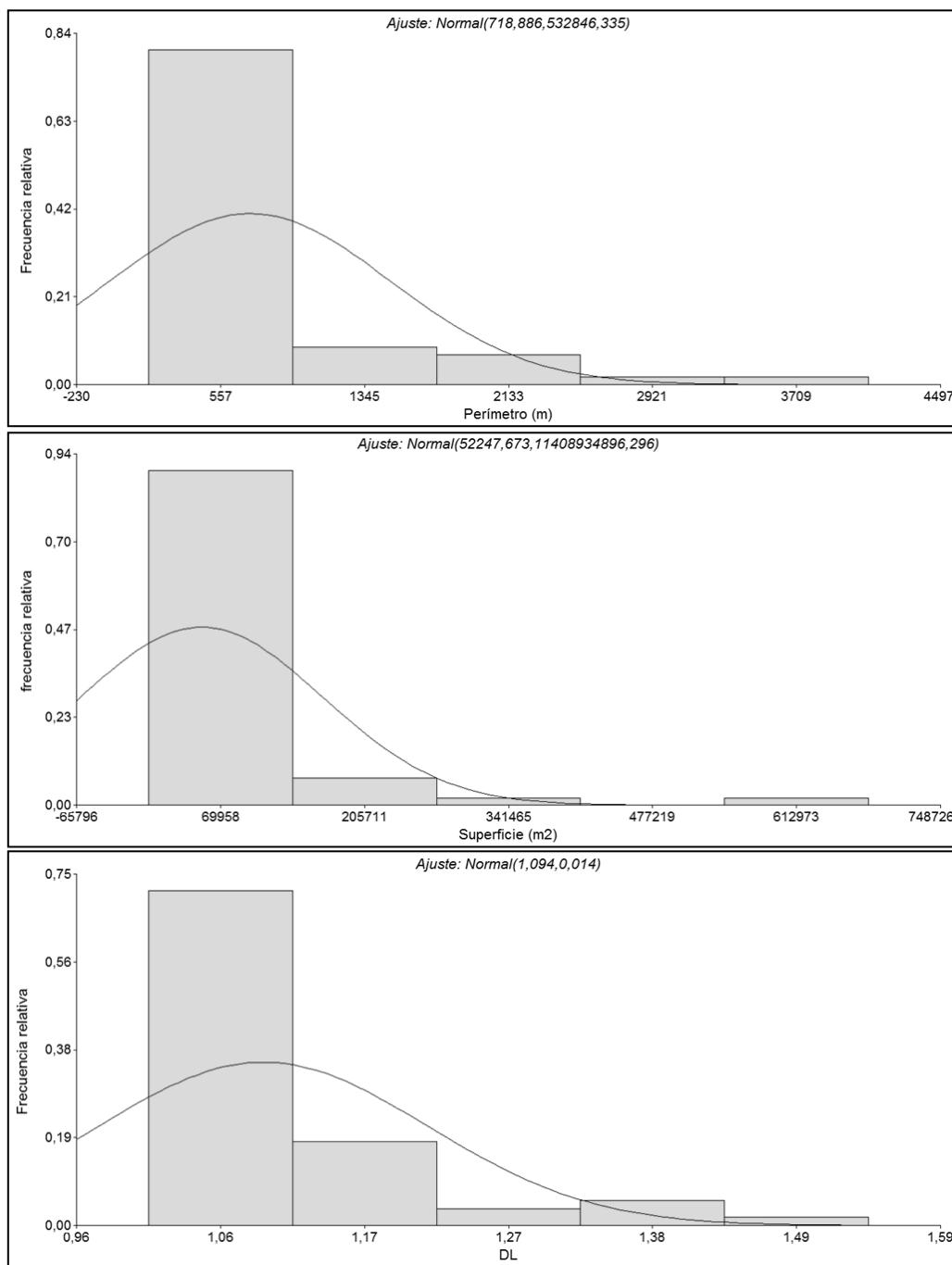
Anexo 27. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Mburucuyá (Corrientes, Argentina)



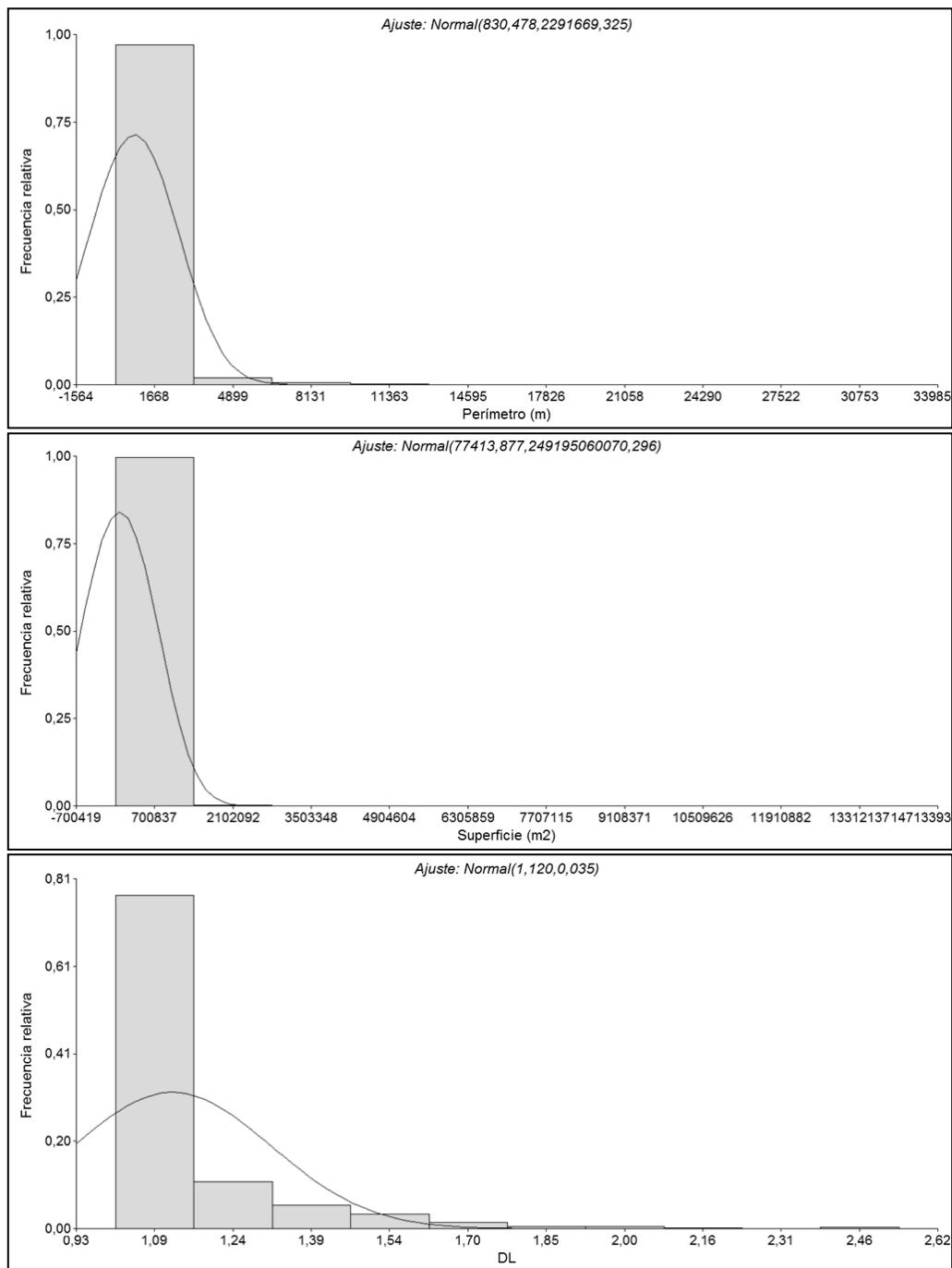
**Anexo 28. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de San Cosme
(Corrientes, Argentina)**



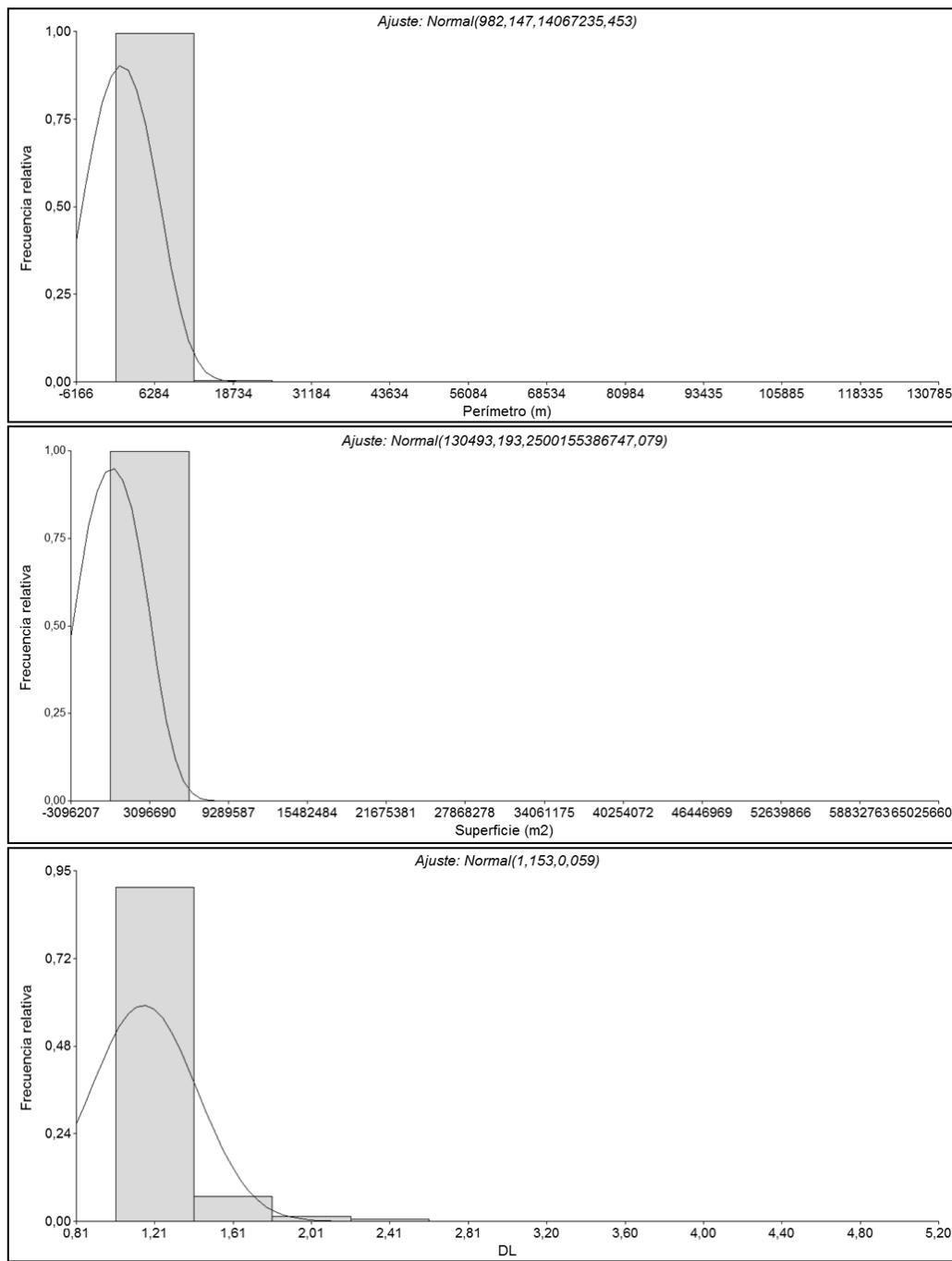
Anexo 29. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de San Luis del Palmar (Corrientes, Argentina)



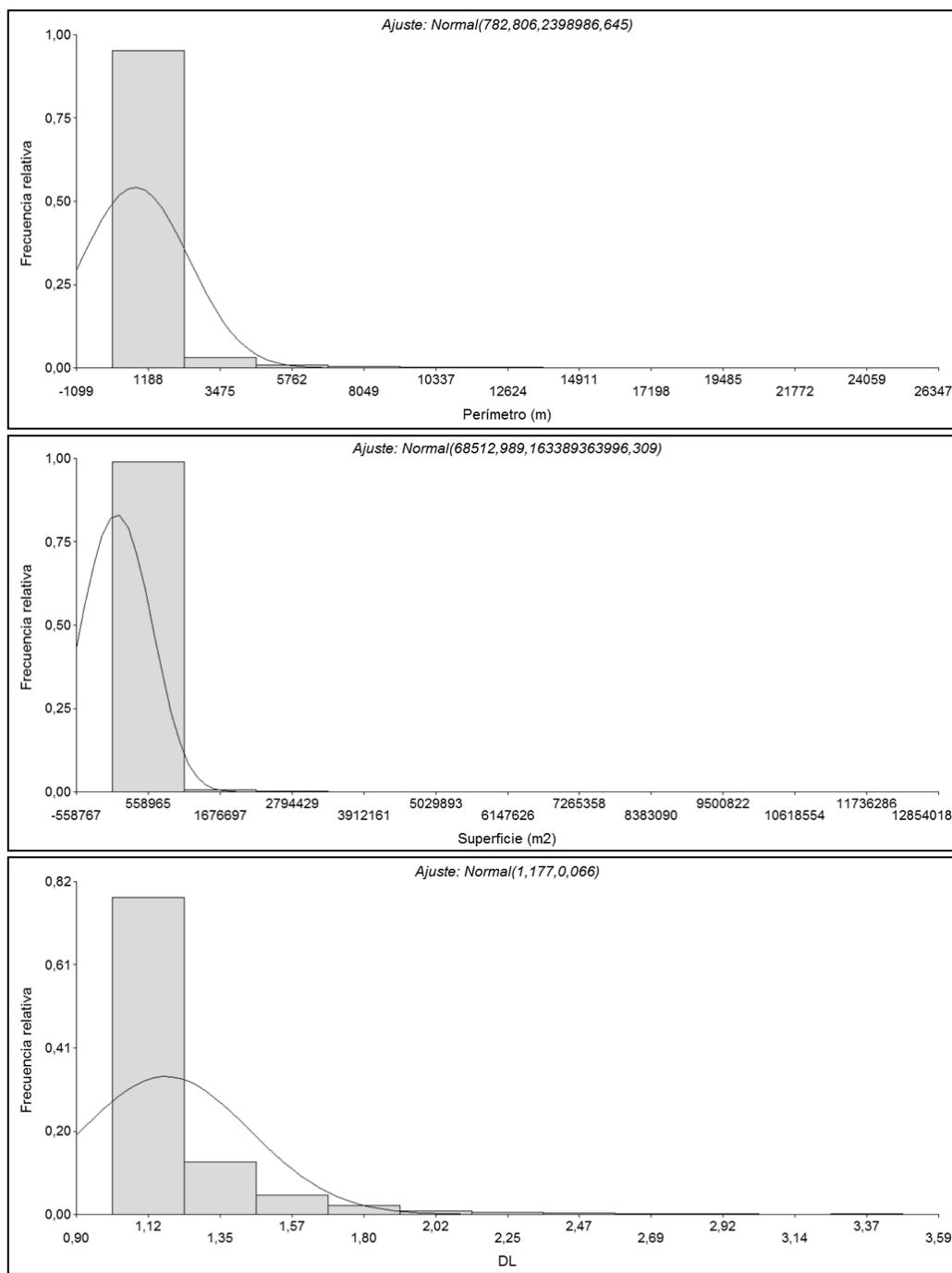
Anexo 30. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de Saladas (Corrientes, Argentina)



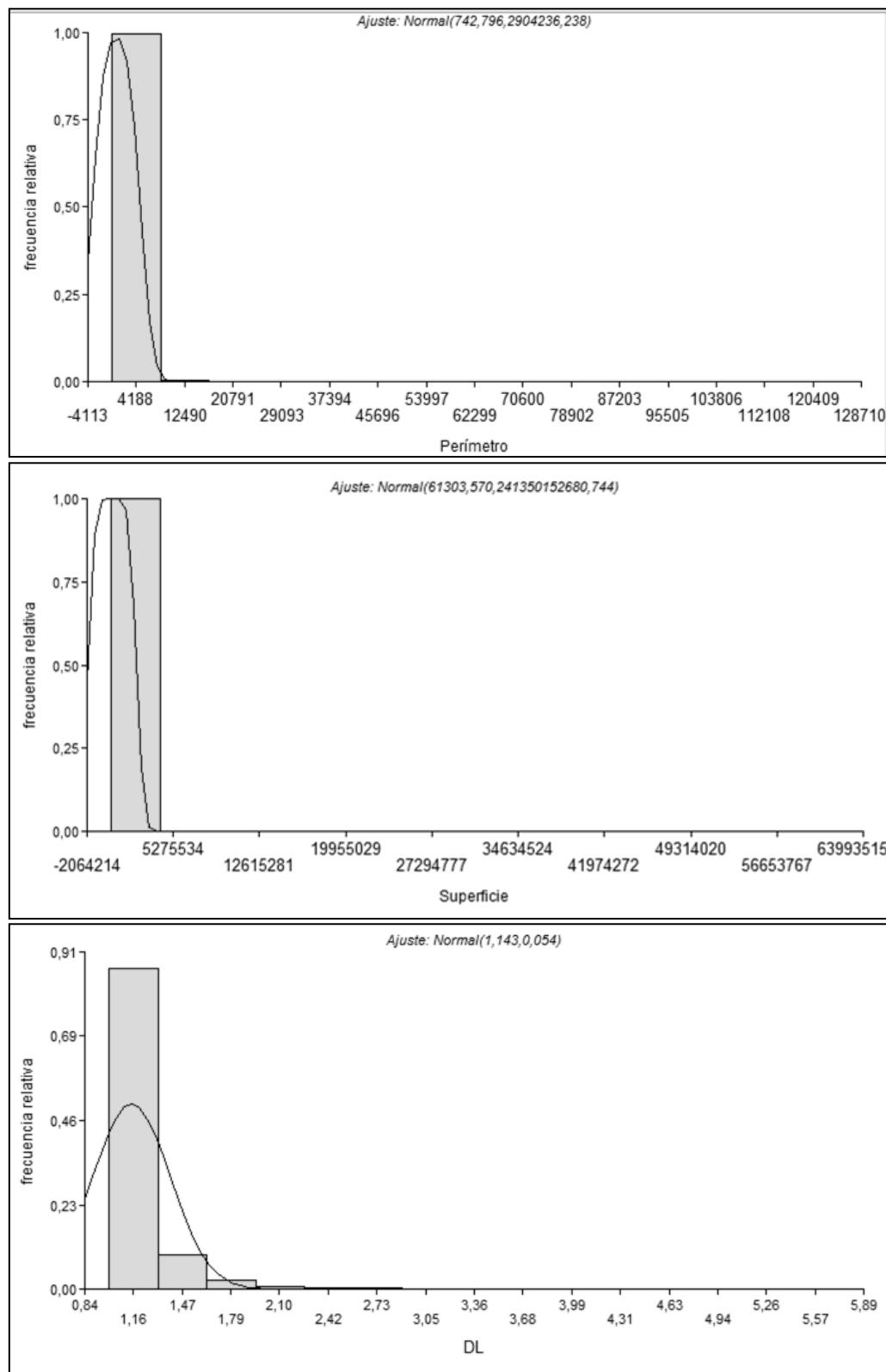
**Anexo 31. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de San Miguel
(Corrientes, Argentina)**



Anexo 32. Frecuencias de los valores morfométricos de las lagunas de San Roque (Corrientes, Argentina)



Anexo 33. Frecuencias de los valores morfométricos de la totalidad lagunas de la provincia de Corrientes (Argentina)



Bibliografía

- Ab'Saber, A. N. 1988. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. *Revista Brasileira de Geografia*. 50. Pp. 9-57.
- Achinelli, M. y Ligier, H. 2008. *Programa Nacional Ecorregiones. Valorización de los bienes y servicios ambientales para caracterizar vulnerabilidad en áreas ecológicas críticas. Campaña de Difusión y Concientización: Valoración de servicios ecológicos en la provincia de Corrientes*. Documento de Divulgación. EEA INTA Corrientes.
- ACIA. 2004. *Impacts of a warming Arctic: Arctic climate impact assessment*. Universidad de Cambridge.
- Adrian, Rita, O'Reilly C., Zagarese, H., Baines, S., Hessen, D., Keller, W., Livingstone, D. Sommaruga, R., Straile, D., Van Donk, E., Weyhenmeyer, G, y Winder, M. 2009. Lakes as Sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*. 54 (6). Pp. 2283-2297.
- Aledo Tur, A. 2008. De la tierra al suelo: la transformación del paisaje y el nuevo turismo residencial. *ARBOR: Ciencia, Pensamiento y Cultura*. 184. Pp. 99-113.
- Almeida, F. 1945. Geología do sudoeste Matogrossense. *Boletim do DNPM/DGM*. 116. Pp.1- 118.
- Almeida, T.; Fernandes, E.; Mendes, D. y Sígolo, J. 2006. *Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese*. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil. Pp. 155-164.
- Álvarez, B. 1974. Los mamíferos fósiles del Cuaternario de Arroyo Toropí, Corrientes, Argentina. *Ameghiniana* 11 (3). Pp. 295-311.
- Andrews, S. 1981: Sedimentology of Great Sand Dunes, Colorado. In Ethridge, F. y Flores, R., (eds), *Recent and ancient nonmarine depositional environments: models for exploration*. Tulsa, OK: Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists. Special Publication 31. Pp. 279–291.
- Anzotegui, L. y Lutz, A. 1987. Paleocomunidades vegetales del Terciario Superior (Fm. Ituzaingó) de la Mesopotamia Argentina. *Revista de la Asociación de Cs. Naturales del Litoral*. 18 (2). Pp 131-144.

- Archuby, F. 1998. *Alometría de los huesos largos de Toxodon platensis (Notoungulata) y Macrauchenia patachonica (Litopterna). Implicancias en su locomoción*. 7º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía (Bahía Blanca), Resúmenes: 101.
- Assine, M. 2003. *Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, Centro-Oeste Brasil*. UNESP, Tese de Livre Docência, Rio Claro, SP.
- Assine, M. y Soares, P. 2004. Quaternary of the Pantanal, westcentral Brazil. *Quaternary International*. 114. Pp. 23-34.
- Aubrech, R.; Lánczos, T.; Gregor, M.; Schlögl, J.; Šmída, B.; Liščák, P.; Brewer-Carías, Ch. Y Vlček, L. 2011. Sandstone caves on Venezuelan tepuis: Return to pseudokarst? *Geomorphology*. 132. Pp. 351-365.
- Barbiero, L.; Rezende Filho, A.; Furquim, S.; Furian, S.; Sakamoto, A.; Valles, V.; Graham, R.; Fort, M.; Ferreira, R. y Queiroz Neto, J. 2008. Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. *Geoderma*. 148. Pp. 91-106.
- Barbosa, A. ; Ribeiro, M. y Shimitz, P. 1990. Cultura e ambiente em áreas de cerrado do sudoeste de Goiás. En: Pinto, M (Ed.). *Cerrado – caracterização ocupação e perspectivas*. Brasília, Ed. Da UNB. Pp. 67-100.
- Barrenechea, J.; Gentile, E.; González, S. y Natenzon, C. 2003. “Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social del riesgo”. En: Lago Martínez, S. Gómez Rojas G. y Mauro, M. (coor.). *Entorno de las metodologías: abordajes cualitativos y cuantitativos*. Buenos Aires, Proa XXI. Pp. 179-196.
- Bates, R., y Jackson, J. 1987. *Glosario de la geología (Tercera edición)*. Alexandria, Virginia, American Geological Institute.
- Bécares, E.; Conty, A.; Rodríguez Villaflaño, C. y Blanco, S. 2004. Funcionamiento de los lagos someros mediterráneos. *Ecosistemas*. 13 (2). Pp. 2-12.
- Beklioglu, M.; Altinayar G. y Tan, C. 2001. *Role of water level fluctuations, nutrients and fish in determining the macrophyte-dominated clear water states in five Turkish shallow lakes*. Shallow Lake Wetlands: Ecology, Eutrophication and Restoration International Workshop, 28-30 October 2001, Ankara, Turkey.

- Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I. y Wisne, B. 1998. *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*. Bogotá, la RED/ITDG.
- Blindow, I. 1992. Long and short-term dinamics of submerged macrophytes in two shallow eutrophic lakes. *Freshwater Biology*. 28. Pp. 15- 27.
- Bocco, G. 2003. Carl Troll y la ecología del paisaje. *Gaceta Ecológica*, 68. Pp. 69-70.
- Bohn, V., Perillo, G y Picolo, M. 2011. Distribution and morphometry of shallow lakes in a tempérante zone (Buenos Aires Province, Argentina). *Limnetica*. 30 (1). Pp. 89- 102
- Bond, M.; Cerdeño, E. y López, G. 1995. Los Ungulados Nativos de América del Sur. En: Alberdi, M. T., G. Leone y E. P. Tonni, (eds.). *Evolución climática y biológica de la región Pampeana durante los últimos cinco millones de años. Un ensayo de correlación con el Mediterráneo occidental*. Museo de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Monografías, 12. Pp. 259-275.
- Bond, M. 1999. Quaternary native ungulates of Southern South America. A synthesis. En: Rabassa, J. y M. Salemme, (Eds.). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 12. Pp. 177-205.
- Bonetto, A., Roldán, D. Y Oliver, M. 1978. Estudios limnológicos en la cuenca del Riachuelo. Poblaciones de peces en ambientes leníticos y lácticos. *Ecosur*, 5 (9). Pp. 1-15.
- Bonetto, A. 1980. Densidad de población, crecimiento y producción de sábalo (*Prochilodus platensis*) en la laguna González (Corrientes, Argentina). *Historia Natural*. 1 (18). Pp. 121-136.
- Brian, R y Yair, A. 1982. *Badland geomorphology and piping*. Geobooks, Norwich.
- Briere, P. 2000. Playa, playa lake, sebkha. Proposed definitions for old terms. *Journal of Arid Environments*, 45. Pp. 1-7.
- Briggs, D.; Wilby, P.; Pérez Moreno, P.; Sanz, J. y Fregenal Martínez, M. 1995. The mineralization of dinosaur soft tissue in the Lower Cretaceus of Las Hoyas, Spain. *Journal of the Geological Society. London*. 154 (4), Pp. 587-588.
- Brinson, M. 2004. Conceptos y desafíos de la clasificación de humedales. En: Malvárez, A. y Bó, R. (Comp). *Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina*. Pp: 25 – 33.

- Bryan, R y Jones, A. 1997. The significance of soil piping processes: inventory and prospect. *Geomorphology*. 20. Pp. 209-218.
- Botequilha, A.; Miller, J.; Ahern, J. y McGarigal, K. 2006. *Measuring Landscapes. A Planner's Handbook*. Washington: Island Press.
- Bruniard E. 1966. Bases Fisiográficas para una División Regional de la Provincia de Corrientes. *Nordeste*. 8. Pp. 7-80.
- Bullard, J. y Livingstone, I. 2002. Interactions between aeolian and fluvial systems in dryland environments. *Area*. 34. Pp. 8-16.
- Bullard, J. y McTainsh, G. 2003. Aeolian – fluvial interactions in dryland environments: examples, concepts and Australia case study. *Progress in Physical Geography*. 27 (4). Pp. 471-501.
- Cabrera, M.; Bello, C. y Atencio, M. 2006. Análisis morfométrico de la laguna Victoria, Parque Nacional Sierra Nevada, Mérida, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*. 57 (3). Pp. 93-98.
- Cano García, G. 1975. Un ejemplo de kárst mecánico en rocas blandas: Las torcas de Guadix. *Estudios Geográficos*. 138. Pp. 247-263.
- Cano, J. y Bosque-Sendra, J. 1996. Delimitación de unidades homogéneas del relieve a partir de un modelo digital de elevaciones. *Estudios Geográficos*. Pp. 615-644.
- Calini, A.; Zurita, A y Miño Boilini, A. 2008. Reseña paleobiogeográfica de los Xenarthra (Mammalia) del Pleistoceno tardío de la región Mesopotámica (Argentina). *Miscelánea*. 17 (2). Pp. 259-270.
- Carlini, A; Zurita, A; Gasparini, G. y Noriega J. 2003. Los mamíferos del Pleistoceno de la Mesopotamia argentina y su relación tanto con aquellos del Centro-Norte de la Argentina, Paraguay y Sur de Bolivia, como con los del Sur de Brasil y Oeste de Uruguay: Paleobiogeografía y Paleoambientes. *Miscelánea*. 12. Pp. 5-12.
- Carnevali, R. 1994. *Fitogeografía de la provincia de Corrientes*. Editorial Litocolor, Asunción, Paraguay.
- Castellanos A. 1965. *Estudio fisiográfico de la provincia de Corrientes*. Instituto de Fisiografía y Geología (Universidad Nacional del Litoral).

- Chardon, A. 1998. Crecimiento urbano y riesgos “naturales”: Evaluación final de la vulnerabilidad global en Manizales, Andes de Colombia”. *Desastres y Sociedad. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América*. 9. Pp. 5-35.
- Christensen, M.; Graham, M.; Vinebrooke, R.; Findlay, D.; Paterson, M. y Turner, M. 2006. Multiple anthropogenic stressors cause ecological surprises in boreal lakes. *Global Change Biology*. 12. Pp. 2316 – 2322.
- Clarke, M. y Rendell, H. 1998. Climate change impacts on sand supply the formation of desert sand dunes in the sounth-west USA. *Journal of Arid Environments*. 39. Pp. 517-531.
- Clichevsky, N. 2006. Estado, mercado de tierra urbana e inundaciones en ciudades Argentinas. *Cuadernos de Geografía*. Universidad Nacional de Colombia. 15. Pp. 31-52.
- Coats, R.; Perez Losada, J.; Schladow, G., Richards, R. y Goldman, C. 2006. The warming of Lake Tahoe. *Climatic Change*. 76. Pp. 121-148.
- Colinvaux, P.; De Oliveira, P. y Bush, M. 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: The failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Eeviews*. 19. Pp. 141-169.
- Colombo, F. 2010a. Abanicos aluviales: procesos de transporte y acumulación de materiales detríticos. En Arche, A (Ed.) *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. Pp. 85-130
- Colombo, F. 2010b. Abanicos aluviales: Secuencias y modelos de sedimentación. En Arche, A (Ed.) *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. Pp. 131-224
- Contreras, F. 2015. El impacto ambiental del crecimiento espacial de la ciudad de Corrientes sobre lagunas periurbanas. *Boletín Geográfico*. UNComa. 37. Pp. 29-42.
- Contreras, F. 2014. *Los cambios morfométricos de las lagunas de lomadas arenosas como respuesta a los períodos húmedos y secos*. XX Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes. Junio 17-19.

- Contreras, F. 2011. Evolución de las lagunas en función de la pendiente, Lomada Norte. Provincia de Corrientes, Argentina. *Terra Nueva Etapa*. 42. Pp. 145-163.
- Contreras, F. y Ojeda, E. 2016. El paisaje de lomadas arenosas de la reserva de los esteros del Iberá. En. Contreras, F. I. y Odriozola, M. P. (Comp). *III Libro de la Junta de Geografía de la Provincia de Corrientes*. Pp. 51 – 58.
- Contreras F.; Ojeda E. y Contreras, S. 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. Pp. 65- 78.
- Contreras, S. 2016. *Análisis Fitolíticos de los sedimentos de las Barrancas del Río Bermejo*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales, Físicas y Exactas, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 299 p. Unpublished. .
- Cooke, R., Warren, A. y Goudie, A. 1993. *Desert Geomorphology*. UCL Press. London.
- Cunha J. 1943. Cobre de Jauru e Lagoas alcalinas do Pantanal. DNPM/LPM, *Bolitim*. 6. Pp. 1-53.
- De Bruijn, H. 1971. Pans in the western Orange Free State. *Annals of the Geological Survey of South Africa*. 9. Pp.121-124.
- De Las Heras, X.; Grimalt, J.; Albaiges, J.; Juliá, R. y Anadón, P. 1989. Origin and diagenesis of the organic matter in Miocene freshwater lacustrine phosphates (Cerdanya Basin, Eastern Pyrenees). *Organic geochemistry*. 14 (6), Pp. 667- 677.
- De Lucio, J.; Atauri, J.; Sastre, P. y Martínez, C. 2003. Conectividad y redes de espacios naturales protegidos: del modelo teórico a la visión práctica de la gestión. García Mora, M. (Coord.), *Conectividad ambiental: las áreas protegidas en la cuenca mediterránea*. Junta de Andalucía, Sevilla. Pp. 29-54.
- Castillo Jurado, M. 1992. *Morfometría de lagos, una aplicación a los lagos del pirineo*. (Doctoral dissertation, Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. España).
- Derrauau, M. 1966. *Geomorfología*. Ediciones Ariel. Barcelona.
- Deschamps, C. M. y Tonni, E. P. 1992. Los vertebrados del Pleistoceno tardío del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Aspectos paleoambientales. *Ameghiniana*. 29 (3). Pp. 201-210.

- Desir, G.; Gutiérrez Elorza, M. y Gutiérrez Santolalla, F. 2003. Origen y evolución de playas en una zona semiárida con arenas eólicas (región de Coca, Cuenca del Duero, España). *Boletín Geológico y Minero*. 114 (4). Pp. 395-407.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. 2014. *InfoStat versión 2014*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Diovisalvi, N.; Bohn, V.; Piccolo, M.; Perillo, G.; Baigún, C. y Zagarese, H. 2015. Shallow lakes from the Central Plains of Argentina: an overview and worldwide comparative analysis of their basic limnological features. *Hidrobiología*. 752 (1). Pp. 5-20.
- Diovisalvi, N.; Berasain, G.; Unrein, F.; Colautti, D.; Fermani, P.; Llames, M.; Torremorell, A.; Lagomarsino, L.; Pérez, G.; Escaray, R.; Bustingorry, J.; Ferraro, M. y Zagarese, H. 2010. Chascomús: Estructura y funcionamiento de una laguna pampeana turbia. *Ecología Austral*. 20. Pp. 115-127.
- Doerr, S., 1999. Karst-like landforms and hydrology in quartzites of the Venezuelan Guyana shield: pseudokarst or “real” karst? *Zeitschr. Geomorphology*. 43. Pp. 1-17.
- Doyle, F. 1978. Digital terrain models: an overview". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 44 (12). Pp. 1481-1485.
- Drago, E.; Ezcurrade Drago I.; Oliveros, O. y Paire, A. 2003. Aquatic Habitats, Fish and Invertebrate Assemblages of the Middle Paraná River. *Amazoniana*. 17 (3-4). Pp. 291-341.
- Drago, E. 1981. Grados de conexión y fases hidrológicas en ambientes leníticos de la llanura aluvial del río Paraná (Argentina). *Ecología*. 6. Pp. 27-33.
- Drago, E. 1980. “Aspectos limnológicos de ambientes próximos a la ciudad de Santa Fe (Paraná Medio): comportamiento hidrológico y sólidos suspendidos”. *Ecología*. 5 (1). Pp. 31-48.
- Durán Valsero, J.; García de Domingo, A. y Robledo Ardilla, P. 2009. Propuesta de clasificación genético-geológica de humedales. Aplicación a los humedales españoles incluidos en el Convenio de Ramsar. *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3). Pp. 335-346
- Eberhard, R. y Sharples C. 2013. "Appropriate terminology for karst-like phenomena: the problem with 'pseudokarst'". *International Journal of Speleology*. 42 (2). Pp. 109-113.

- Eiten, G. 1983. *Classificação da vegetação do Brasil*. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasília.
- Elizondo, M. 2015. *Actualización Del inventario de plantaciones forestales de la provincia de Corrientes*. Consejo Federal de Inversiones de la provincia de Corrientes.
- Ellery, W.; Ellery, K.; McCarthy, T.; Cairncross, B. y Oelofse, R. 1989. A peat fire in the Okavango Delta, Botswana, and its importance as an ecosystem process. *African Journal of Ecology*. 27. Pp. 7-21.
- Erra, G.; Osterrieth, M.; Zurita, A.; Francia, A. y Carlini, A. 2013. Paleoenvironment of the Toropí Formation (Upper Pleistocene), Corrientes province (Mesopotamian region, Argentina): A phytolith approach. *Quaternary International*. 287. Pp. 73-82.
- Escobar, E. y Capurro, R. 1988. Provincia de Corrientes. En Prego, A. (Coor.) *El deterioro ambiental en la Argentina*. FECIC, Buenos Aires. Pp. 79 – 83.
- Esteves, F. A. 1998. *Fundamentos de Limnología*. Rio de Janeiro. Interciênciac/ FINEP.
- Eugster, H.P. y Hardie, L.A. 1978. Saline lakes. In: Lerman, A. (Ed.). *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. Springer- Verlag, New York. Pp. 237-293.
- Felicísimo Á. (1999). *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones a las ciencias ambientales*.
- Fernández Aláez, M.; Fernández Aláez, C.; García Criado, F. y Trigal Domínguez, C. 2004. *La influencia Del régimen hídrico sobre las comunidades de macrófitos de lagunas someras de la Depresión del Duero*. Ecosistemas 2004/2. Recuperado de <http://www.aeet.org/ecosistemas//042/investigacion6.htm>
- Ferández Pacella, L.; Garralla, S. y Anzótegui, L. 2011. Cambios en la vegetación durante el Holoceno en la región Norte del Iberá, Corrientes, Argentina. *Revista de Biología Tropical*. 59 (1): 103 – 112.
- Ford, D. y Williams, P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Inglaterra.
- Forman, R. y Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. Nueva York: Wiley and Sons.
- Fornerón, C.; Piccolo, M. y Carbone, M. 2010. Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina). *Huellas*. 14. Pp. 11-30.

- Fortes, E.; Volkmer, S.; Stevaux, J. y Marques, A. 2007. Anomalias de drenagem e controles morfotectônicos da evolução dos terraços do baixocurso do Rio Ivinhema –MS. *Geociências*.UNESP. 26 (3). Pp. 249-261.
- Fregenal Martínez, M. y Meléndez, N. 2010. Lagos y sistemas lacustres. En Arche, A (Ed.) *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. Pp. 299-396.
- Furquim, S.; Graham, R.; Barbiero, L. y Queiroz Neto, J. 2010. Soil mineral genesis and distribution in a saline lake landscape of the Pantanal Wetland, Brazil. *Geoderma*. 154. Pp. 518-528.
- Gafny, S. y Gasith, 1999. Spatially and temporally sporadic appearance of macrophytes in the litoral zone of lake Kinneret, Israel: taking advantage of a window of opportunity. *Aquatic Botany*. 62. Pp. 249-267.
- García Ruiz, J. 2011. Una revisión de los procesos de sufosión o piping en España. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 37 (1). Pp. 7-24.
- Giddnes, Anthony. 1990. *Consecuencias de la modernidad*. Madrid, alianza editorial.
- Goudie, A. 1999. Wind erosional landforms: yardangs and pans. En: Goudie, A., Livingstone, I. y Stokes, S. (Eds.). *Aeolian Environments, Sediments and Landforms*. Wiley. Pp. 167-180.
- Goudie, A. 1991. Pans. *Progress in Physical Geography*. 15. Pp. 221-237.
- Goudie, A. y Thomas, D. 1985. Pans in Southern Africa with particular reference to South Africa and Zimbabwe. *Zeitschrift für Geomorphology*. 29. Pp. 1-19.
- Goudie, A. y Wells, G. 1995. The nature, distribution and formation of pans in arid zones. *Earth-Science Reviews*. 38. Pp. 1-69.
- Gurrutxaga San Vicente, M. y Lozano Valencia, P. 2008. Ecología del paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial. *Estudios Geográficos*, 69. Pp. 519-543.
- Gutierrez, R. Y Sánchez Negrette, A. (1988). *Evolución urbana y arquitectónica de Corrientes*. Instituto Argentino de investigaciones en Historia de la Arquitectura. Buenos Aires Tomo I.

- Gutierrez Elorza, M. y Rodriguez Vidal, J. 1984. Fenomenos de sufosión (Piping) en la depresión media del Ebro. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 10. Pp. 75-83.
- Jones, J. 2004. Pipe and piping. En: Goudie, A. (Ed.) *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge. London. Pp. 784 – 788.
- Häkanson, L. 1981. *A manual on lake morphometry*. Springer Verlag, Berlín.
- Hamblin, W. y Chistiansen, E. 2004. *Earth's dynamic systems*. 10ma Edition. Upper Saddle River, New Jersey. Prentice Hall.
- Hamilton, D. y Mitchell, S. 1996. An empirical model for sediment resuspension in shallow lakes. *Hydrobiologia*. 317. Pp. 209-290.
- Harper, R. y Gilkes, R. 2004. Aeolian influences on the soils and landforms of de southern Yilgarn Craton of semi-arid, southwestern Australia. *Geomorphology*. 59. Pp. 215-235.
- Harrison, J. y Yair, A. 1998. Late Pleistocene aeolian and fluvial interactions in the development of the Nizzana dunefield, Negev Desert, Israel. *Sedimentology*. 45. Pp. 507-518.
- Helgren, D. 1979. *Rivers of diamonds: an alluvial history of the lower Vaal basin, South Africa*. Research Paper 185. Chicago: Department of Geography, University of Chicago.
- Herbst, R. 2000. La Formación Ituzaingó (Plioceno). Estratigrafía y distribución. En: Herbst y Aceñolaza (Eds.) *El Neógeno de Argentina*. Pp. 181 – 191.
- Herbst, R. 1971. Esquema estratigráfico de la provincia de Corrientes, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 26 (2). Pp. 221-243.
- Herbst, R. y Álvarez, B. 1972. Nota sobre dos Toxodontes (Toxodontidae, Notoungulata) del Cuaternario de Corrientes, Argentina. *Ameghiniana*. 9 (2). Pp. 149-158.
- Herbst, R. y Álvarez, B. 1977. Nota sobre dos formaciones del Cuartario de Corrientes, República Argentina. *FACENA* 1. Pp. 7-17.
- Herbst, R. y Santa Cruz, J. 1985. Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes. *D'Orbignyana*. 2. Pp. 1-69.

- Hoagland, K. y Peterson, C. 1990. Effects of light and wave disturbance on vertical zonation of attached microalgae in large reservoir. *Journal of Phycol.* 26. Pp. 450-457.
- Hofstede, R. 2001. *El Impactos de las actividades humanas sobre el páramo*. Recuperado en:
http://www.portalces.org/sites/default/files/references/095_Hofstede%202001%20Páramo%20Ecuador%20impacto.pdf
- Hutchinson, G. 1957. *A Treatise on Limnology: Geography, Physics and Chemistry*. Vol. 1. Londres: Chapman and Hall.
- Hutchinson, G. 1938. Chemical stratification and lake morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 24. Pp. 63-69.
- Iriondo, M. 2012. Aguas superficiales y subterráneas de la provincial de Santa Fe. 2da Edición. Museo Provincial de Cs. Naturales “Florentino Ameghino”.
- Iriondo, M. 2010. *Geología del Cuaternario de Argentina*. Editorial Moglia. Corrientes, Argentina.
- Iriondo, M. 2007. *Introducción a la Geología*. 3º edición. Editorial Brujas. Córdoba.
- Iriondo, M. 1999. El Cuaternario del Chaco y Litoral. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Geología Argentina, Anales*. 29 (23). Pp. 696-699.
- Iriondo, M., 1997. Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. *Journal of South American Earth Sciences*. 10 (1). Pp. 71-79.
- Iriondo, M. 1996. *Estratigrafía del Cuaternario de la Cuenca del Río Uruguay*. Actas del 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Pp.15-25.
- Iriondo, M. 1988. A Comparison between The Amazon and Paraná River Systems. *Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg*. 66. Pp. 77-92.
- Iriondo, M. 1984. The Quaternary of northeastern Argentina. En: Rabassa J. (Ed.) *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 2. Pp. 51-78.

- Iriondo, M. 1972. Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del río Paraná desde Helvecia hasta San Nicolás, República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina*. 27(2). Pp. 155-160.
- Iriondo, M. y García, N. 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaecology*. 101. Pp. 209-220.
- Iriondo, M. y Paira, A. 2007. Physical Geography of the Basin. En: Iriondo M, Paggi J, Parma M. (Eds.). *The Middle Paraná River – Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pp. 7 – 31
- Jabur, I. 1992. *Análise paleoambiental do Quaternário superior na bacia do alto rio Paraná*. Tesis Doctoral Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho.
- Jalfin, G. 1988. *Formación Ituzaingó (Plio-Pleistoceno) en Empedrado, provincia de Corrientes: un paleorío arenoso entrelazado tipo Platte*. II Reunión Argentina de Sedimentología, Actas. Pp. 130-134.
- Jeppesen, E; Sondergaard, M.; Jensen, J.; Mortensen, E. y Hansen, A. 1998. Cascading trophic interactions from fish to bacteria and nutrients after reduced sewage loading: An 18-year study of a shallow hypertrophic lake. *Ecosystems*. 1(3). Pp. 250-267.
- Joly, F. 1988. *La cartografía*. Oikos-Tau. Barcelona.
- Jones, B. y Bowser, C. 1978. The mineralogy and related chemistry of lake sediments. En Lerman, A. (Ed.), *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. Springer-Verlag, Berlín. Pp. 175-235.
- Jørgensen, S. y Vollenweider, R. 1988. *Use of models*. En: Guidelines of lake management. *Principles of lake management*. Vol. 1. ILEC. UNEP. Pp 71-98.
- Kawakami de Resende, E. 2001. O pantanal matogrossense. En: Fernández Cirelli, A. (Coor.). *El agua en Iberoamérica: Funciones de los humedales. Calidad de vida y agua segura*. Pp. 113-118.
- Keller, W. 2007. Implications of climate warming for Boreal Shield lakes: A review and synthesis. *Environmental Reviews*. 15. Pp. 99-112.
- Killigrew, L. y Gilkes, R. 1974. Development of playa lakes in south western Australia. *Nature*. 247. Pp. 454-455.

- Klammer, G. 1982. The paleodesert of the Pantanal of Mato Grosso and the Pleistocene climatic—history of the central Brazilian tropics (in German). *Zeitschrift für Geomorphologie*. 26. Pp. 393-416.
- Kocurek, G y Lancaster, N. 1999. Aeolian system sediment state: theory and Mojave Desert Kelso dune field example. *Sedimentology*. 46. Pp. 505-515.
- Kramer, V. 1998. *Mudanças Climáticas na região de Taquaruçu (MS) durante o Holoceno*. Tesis de Maestría. Departamento de Biología/NUPÉLIA. Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Langford, R. 1989: Fluvial–aeolian interactions. Part 1, modern systems. *Sedimentology*. 36. Pp.1023-1035.
- Le Maitre, D.; Van Wilgen, B.; Chapman, R.; McKelly, D. 1996. Invasive plants and water resources in the Cape Province, South Africa: modelling the consequences of a lack of management. *Journal of Applied Ecology*. 33. Pp. 161-172.
- Ledru, M. 1993. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. *Quaternary Research*. 39. Pp. 90-98.
- Ligier, H., Kurtz D. y Perucca, R. 2004. *Relevamiento arrocero 2003/2004, con apoyo de escenas landsat, en la provincia de Corrientes*. Ediciones INTA. 3 y 4.
- Ligier, H., Kurtz, D. y Perucca, R. 2001. *Relevamiento arrocero 2000/2001, con apoyo de escenas landsat, en la provincia de Corrientes*. Recuperado <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/5-Agrarias/A-006.pdf>.
- Livingstone, I. y Warren, A. 1996. *Aeolian Geomorphology: An Introduction*. Longman. Essex.
- López Bermúdez, F. y Torcal Sáinz, L. 1986. Procesos de erosión de túnel (Piping) en cuencas sedimentarias de Murcia (España). Estudio preliminar mediante difracción de rayos X y microscopio electrónico de barrido. *Papeles de Geografía Física*. 11. Pp. 7-20.
- Luque, L.; Alcalá, L.; Mampel, L.; Pesquero, M.D.; Royo-Torres, R.; Cobos, A.; Espílez, E.; González, A.; Ayala, D.; Aberasturi, A.; Marzo, P. y Alloza, R. 2009. Mineralogical, elemental and chemical composition of dinosaur bones from Teruel (Spain). *Journal of Taphonomy*. 7 (2-3). Pp. 151-178.

- Maeder, E. y Gutiérrez, R. 2003. *Atlas del desarrollo Urbano del Nordeste Argentino*. Instituto de Investigaciones Geohistóricas CONICET - Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina.
- Mainguet, M. 1972. *Le Modele des Gres: Problemes Generaux*. Institut Geographique National, Paris.
- Marrs, R. y Gaylord, D. 1982. Techniques for interpretation of windflow characteristics from eolian landforms. En: Marrs, R. y Kolm, K. (Eds.). *Interpretation of Windflow Characteristics from Eolian Landforms*. The Geological Society of America, Boulder, Colorado. Pp. 3-17.
- Moizo Marrubio, P. 2004. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje. *GeoFocus*. 4. Pp. 1-24.
- Marshall, T. y Harmse, J. 1992. A review of the origin and propagation of pans. *South African Geographer*. 19. Pp. 9-21.
- Martini, J., 1979. Karst in Black Reef Quartzite near Kaapsehoop, Eastern Transvaal. *Annales South African Geological Survey*. 13. Pp. 115-128.
- Matteucci, S. 1998. La cuantificación de la estructura del paisaje. En: Matteucci S. y Buzai G. (Eds.). *Sistemas ambientales complejos: Herramientas de análisis espacial*. Universidad de Buenos Aires, Eudeba. Pp. 271-291.
- Mazzoni, E. 2001. Distribución espacial y caracterización geomorfológica de “Bajos sin salida” de la Patagonia Austral Extracordillerana. *Anales del Instituto Patagonia*. Serie Ciencias Naturales. 29. Pp. 5-24.
- McCarthy, T. y Ellery, W. 1997. The fluvial dynamics of the Maunachira channel system, northeastern Okavango Swamps, Botswana. *Water SA*. 23. Pp. 115-126.
- McCarthy, T., Ellery, W. y Stanistreet, I. 1992. Avulsion mechanisms on the Okavango fan, Botswana: the control of a fluvial system by vegetation. *Sedimentology*. 39. Pp. 779-795.
- McCarthy, T.; Stanistreet, I.; Cairncross, B.; Ellery, W.; Ellery, K.; Oelofse, R. y Grobicki, T. 1988. Incremental aggradation on the Okavango Delta-fan, Botswana. *Geomorphology*. 1. Pp. 267-278.

- McGarigal, K. y Marks, B. 1995. *FRAGSTATS: a spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure v2.0 (unpublished computer program user manual and guide)*. Oregon State University. Cornallis
- McTainsh, G.; Leys, J. y Nickling, W. 1999. Wind erodibility of arid lands in the Channel Country of western Queensland, Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband*. 116. Pp. 113–30.
- Meichtry, N. y Mignone, A. 2003. *Movilidad territorial. Una contribución a partir de la población en asentamientos periféricos espontáneos en Resistencia, Chaco, en la década de 1990*. VI Jornadas Argentinas de Estudios de la Población. Asociación de Estudios de Población de la Argentina, Buenos Aires, Argentina. Pp. 324-339.
- Mountney, N.; Howell, J.; Flint, S. y Jerram, D. 1998. Aeolian and alluvial deposition within the Mesozoic Etjo sandstone formation, northwest Namibia. *Journal of African Earth Sciences*. 27. Pp. 175-192.
- Mignone, A. 2008. *Las condiciones de pobreza en las capitales del nordeste argentino a principios del siglo XXI. Su análisis a través del Índice de Privación Material de los Hogares (IPMH)*. XXVII Encuentro de Geohistoria Regional. Instituto de Investigaciones Geohistóricas CONICET. Agosto 28 – 30; Resistencia, Argentina.
- Mignone, A. 2010. La segregación por pobreza en las capitales provinciales del Norte Grande Argentino. Un análisis cuantitativo a partir del IPMH. *Breves Contribuciones del I.E.G. Instituto de Estudios Geográficos de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Tucumán*. 21. Pp. 40-59.
- Montoya Moreno, Y. 2008. “Caracterización morfométrica de un sistema fluviolacustre tropical, Antioquia, Colombia”. *Caldasia*. 30 (2): 413-420.
- Montoya Moreno, Y.; Vélez, F. y Aguirre Ramírez, N. 2011. Características morfométricas de un lago de plano inundable tropical. (Ciénaga Hoyo Los Babres, Colombia. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia*. 59. Pp. 203-214.
- Morton, L. y Jalfin, G. 1987. Análisis de la Formación Ituzaingó en la localidad de Empedrado y alrededores, provincia de Corrientes, Argentina. II Hallazgo del género *Mycetopoda* (M. herbsti nov. Sp.) y revisión de la malacofauna asociada con algunas consideraciones paleoecológicas. *FACENA*. 7. Pp. 207-221.

- Morton, S. 2004. Moluscos fósiles de agua dulce de la Formación Ituzaingó, Plioceno de Corrientes, Argentina. INSUGEO, *MisCELánea*. 12. Pp. 45-48.
- Moss, B.; McGowan, S. y Carvahlo, L. 1994. Determination of phytoplankton crops by top-down and bottom-up mechanisms in a group of English lakes, the West midland meres. *Limnology and Oceanography*. 39. Pp. 1020-1029.
- Muhs, D. y Holliday, V. 1995. Evidence of active dune sand on the Great Plains in the 19th century from accounts of early explorers. *Quaternary Research*. 43. Pp. 198-208.
- Nadal Romero, E.; Verachtert, E.; Maes, R. y Poesen, J. Una nueva herramienta para evaluar la susceptibilidad de los suelos a los procesos de sulfosión o piping: El pinhole test. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 37 (1). Pp. 94-114.
- NASA. *Shuttle Radar Topography Mission. The Mission to Map the World*. Recuperado de <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html> Vista el: 23/09/2015.
- Neiff, J. *Humedales de la Argentina: sinopsis, problemas y perspectivas futuras*. Recuperado de <http://www.neiff.com.ar/documentacion/03.%20Capitulos%20de%20libro/ARCHIVO%2034.%20Neiff,%202001b.pdf>. Consultado el 10 de abril de 2015.
- Neiff, J. 2003. Los Ambientes Acuáticos y Palustres del Iberá. En: Poi de Neiff A. (Ed.) *Limnología del Iberá: Aspectos físicos, químicos y biológicos de las Aguas*. EUDENE.
- Neiff, J. 2001. Humedales de la Argentina: sinopsis, problemas y perspectivas futuras. En: Fernández Cirelli, A. (Coor.). *El agua en Iberoamérica: Funciones de los humedales. Calidad de vida y agua segura*. Pp. 83-112.
- Nunes da Silva Meneses, M. 2010. *A evolução da paisagem de transição savanafloresta em roraima durante o holoceno tardio: base mineralógica, geoquímica e palinológica*. Tesis Doctoral. Universidade Federal Do Pará. Instituto de Geociencias. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.
- Nunes da Silva Meneses, M.; Lima da Costa, M. y Vieira Costa, J. 2007. Os lagos do lavrado de Boa Vista – Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociencias*. 37 (3). Pp. 478-489.
- Odriozola, M. y Contreras, F. 2016. Distribución de las lagunas de la Lomada Norte basadas en una clasificación no supervisada de imágenes satelitales de Landsat 5

- TM. En. Contreras, F. I. y Odriozola, M. P. (Comp). *III Libro de la Junta de Geografía de la Provincia de Corrientes*. Pp. 23 – 32.
- Olcina Cantos, J. 2004. Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal. *Boletín de la A.G.E.* 37. Pp. 49-84.
- Orfeo, O. y Neiff, J. 2008. Esteros del Iberá: un enorme laboratorio a cielo abierto. En: Sitios de interés geológico de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, Anales. 46. Pp. 415-425.
- Orfeo, O. 1996. Reconstrucción morfológica y paleohidrológica de un tramo abandonado del río Paraguay inferior (Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 53. Pp. 348-353.
- Otvos E. 1976. Pseudokarst and pseudokarst terrains: problems of terminology. *Geological Society of America Bulletin*. 87 (7). Pp. 1021-1027.
- Padisák, J. y Reynolds, C. 2003. Shallow lakes: the absolute, the relative, the functional and the pragmatic. *Hydrobiologia*. 506/509. Pp. 1-11.
- Paira, A. 2003. *Características morfométricas de lagunas de la llanura de inundación del río Paraná Medio*. Tesis de Licenciatura en Cartografía, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Paira, A. y Drago E. 2007. Origin, Evolution, and Types of Floodplain Water Bodies. In Iriondo, M.; Paggi, J. y Parma, M. (Eds). *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropic al Wet-land*. Berlin: Springer. Pp. 53-81
- Paira, A. y Drago, E. 2006. Genetical, morphological and evolutional relationships of the floodplain lakes in the Middle Paraná River hydrosystem. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 145. Pp. 207-228.
- Parolin, M. y Stevaux, J. 2001. Clima seco e formação de dunas eólicas durante o Holoceno Médio em Taquaruçu, Mato Grosso do Sul. *Pesquisas em Geociências*. 28(2). Pp. 233-243.
- Partridge, T. y Scott, L. 2000. Lakes and pans. En: Partridge, T. y Maud, R., (Eds.), *The Cenozoic of southern Africa*, Oxford: Oxford University Press. Pp. 145-161.

- Pavlopoulos, K.; Evelpidou, K. y Vassilopoulos, A. 2009. *Mapping Geomorphological Environments*. Springer-Verlag, Alemania.
- Pérez Vega, A. y Mas, J. 2009. Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación. *Investigaciones Geográficas*. 69. Pp. 53-67.
- Pfretzschner, H. y Tütken, T. 2011. Rolling bones - Taphonomy of Jurassic dinosaur bones inferred from diagenetic microcracks and mineral infillings. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 310 (1-2). Pp. 117-123.
- Pham, S.; Leavitt, P.; McGowan, S y Peres Nato, P. 2008. Spatial variability of climate and land-use effects on lakes of the northern Great Plains. *Limnology and Oceanography*. 53. Pp. 728-742.
- Poi de Neiff, A. 1979. Asociaciones faunísticas relacionadas a Egeria nalamas en lagunas del NO de la provincia de Corrientes con especial referencia a los organismos fitófagos. *Ecosur*. 6 (11). Pp. 101-109.
- Popolizio, E. 1996. *El Funcionamiento del Sistema Natural*. Nordeste 2^a época N° 4. Facultad de Humanidades. UNNE. Resistencia, Chaco.
- Popolizio, E. 1989. Algunos elementos geomorfológicos condicionantes de la organización espacial y las actividades del NEA. *Geociencias*. 17. Pp. 7-9.
- Popolizio, E. 1986. *Influencia del Sistema Geomorfológico en las Crecientes e Inundaciones del Nordeste Argentino*. Centro de Geociencias Aplicadas. UNNE. Resistencia, Chaco.
- Popolizio, E. 1985. Geomorfología. *D'Orbigniana*. 22. Pp. 7-10.
- Popolizio, E. 1984. Importancia de la fotointerpretación Geomorfológica en las Obras de Ingeniería de las Llanuras. *Geociencias*. 12. Pp. 26-28.
- Popolizio, E. 1975. *El seudokarst y su importancia en los estudios hidrológicos del Nordeste Argentino*. Serie C. Investigacion. Centro de Geociencias Aplicadas. N° 1.
- Porter, K. y Robbins, E. 1981. Zooplankton fecal pellets link fossil fuel and phosphate deposits. *Science*. 212. Pp. 931-933.

- Prado, J.; Menegaz, A.; Tonni, E. y Salemme, M. 1987. Los mamíferos de la Fauna Local Paso Otero (Pleistoceno tardío), Provincia de Buenos Aires. Aspectos Paleoambientales y Bioestratigráficos. *Ameghiniana*. 24 (3-4). Pp. 217-233.
- Prospero, J.; Ginoux, P.; Torres, O.; Nicholson, S. y Gill, T. 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus-7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*. 40 (1). Pp. 1-31.
- Prego, A. 1961. La erosión eólica en la República Argentina. *Ciencia e Investigación*. 8. Pp. 307-324.
- Price, W., 1972. Oriented lakes: origin, classification, and developmental histories. En: Reeves, C. (Ed.). *Playa Lake Symposium*. ICASALS Publication. International Center for Arid and Semi-arid Land Studies, Lubbock, Texas. Pp. 305–334.
- Pye, K. and Tsoar, H. 1990. *Aeolian sand and sand dunes*. London: Unwin Hyman.
- 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, Argentina.
- Quirós, R. y Drago, E. 1999. The environmental state of Argentinean lakes: An overview. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 4. Pp. 55-64.
- Quirós, R; Rennella, A; Boveri, M; Rosso, J. y Sosnovsky, A. 2002. Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Ecología Austral*, 12. Pp.175-185.
- Ramírez, M.; Monzón, N.; Claret, Romina.; Contreras, F. Y Belingheri, B. 2013. *Corrientes en cifras. Recopilación y compilación estadística para la interpretación de la situación actual*. Contexto. Resistencia, Chaco.
- Ramonell, C.; Amsler, M. y Toniolo, H. 2000. Geomorfología del cauce principal. En el río Paraná en su tramo medio: contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles. En, Paoli, C. y Schreider, M. (Eds.). *Un gran río de llanura*. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. 1. Pp. 173-234.
- Reeves, C., 1966. Pluvial lake basins of West Texas. *Journal of Geology*.74. Pp. 269-291.

- Resende, E. 1989. *Recursos Naturais do Pantanal*. 1º Congresso Internacional sobre conservação do Pantanal: o futuro é o que a gente faz. Campo Grande, MS. WWF: 26 – 30.
- Ringuelet, Raúl. 1962. *Ecología Acuática Continental*. Eudeba. Buenos Aires.
- Romero, M. 2005. *Cambios en la estructura del paisaje del Alt Empordà en el periodo 1957- 2001*, Tesis doctoral, Universidad de Girona.
- Romero Díaz, A.; Marín Sanleandro, P. y Sánchez Soriano, A. 2009. Procesos de piping en la región de Murcia (Sureste de España). *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 35 (1). Pp. 87-117.
- Romero Díaz, A.; Marín Sanleandro, P.; Sánchez Soriano, A.; Belmonte Serrato, F. y Faulkner, H. (2007). The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena*. 69. Pp. 282-293.
- Rosen, M. 1994. The importance of groundwater in playas: a review of playa classifications and the sedimentology and hydrology of playas. En: Rosen, M. (Ed.), *Paleoclimate and Basin Evolution of Playas Systems. Geological Society of America, Special Paper*. 189. Pp. 2-18.
- Rosenzweig, C. 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. En: Parry, M.; Canziani, O.; Palutikof, J.; van der Linden, P. y Hanson, C. (Eds). *Climate change 2007—impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Universidad de Cambridge. Pp. 79-131.
- Ruizdiaz, R. y Zimmermann, J. 2008. *Situación del sector foresto-industrial en la zona centro y suroeste de Corrientes*. Publicación EEA Bella Vista. Serie Técnica Nº 26.
- Silva, J. Dos Santos, V. y Abdon, M. 1998. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 33. Pp. 1703-1711.
- Simões Filho, F.; Turcq, B.; Carneiro Filho, A. y Souza, A. 1997. Registros sedimentares de lagos e brejos dos campos de Roraima: Implicações paleoambientais ao longo do Holoceno. En: Barbosa, R.; Ferreira, E y Castellon, E. (Orgs.) *Homem, Ambiente e Ecologia no estado de Roraima*. Manaus, INPA. Pp. 295-302.

- Smith, R. 1982. Sand dunes in the North American desert. En Bender, G.L., (Ed), *Reference handbook on the deserts of North America*. Westport CT: Greenwood Press. Pp. 481–526.
- Soares, A.; Soares, P. y Assine, M. 2003. Lagoas e Areais do Pantanal-Brasil: Herança Paleoclimática? *Revista Brasileira de Geociências*, 33 (2). Pp. 211-224.
- Soares da Silva, M. y Sakamoto, A. 2009. *Reflexões preliminares sobre as lagoas do Pantanal da Nhecolândia como unidades da paisagem distintas e peculiares*. VI Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades Grupo de Montevideo (AUGM).
- Solabarrieta, M. y Weibezahn, F. 1980. Distribución y abundancia de los macroinvertebrados bénicos del lago de Valencia, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*. 31(3). Pp. 247-274.
- Stamatakis, M. y Koukouzas, N. 2001. The occurrence of phosphate minerals in lacustrine clayey diatomite deposits, Thessaly, Central Greece. *Sedimentary Geology*. 139. Pp. 33-47.
- Steiaux, J. 2000. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Paraná River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. *Quaternary International*.72. Pp. 73-85.
- Steiaux, J. 1994. The upper Paraná River (Brazil): Geomorphology, Sedimentology and Paleoclimatology. *Quaternary International*. 21. Pp. 143-162.
- Steiaux, J. 1993. *Rio Paraná: Geomorfogênese, sedimentologia e evolução quaternária de seu curso superior*. Tesis Doctoral Inst. de Geoc. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Steiaux, J. y Santos, M. 1998. Paleohydrological changes in the upper Paraná River, Brasil during the Late Quaternary: a facies approach. En: Benito, G; Baker, V. y Gragory, K. (Eds.). *Palaeohydrology and Environmental Change*. John Wiley y Sons Ldt. Pp. 273-285.
- Strahler, A. 1984. *Geografía Física*. Ediciones Omega S. A. Barcelona.
- Sweeney, M. y Loope, D. 2001. Holocene dune-sourced alluvial fans in the Nebraska Sand Hills. *Geomorphology*. 38. Pp. 31 – 46.

- Talbot, M. y Williams, M. 1978. Erosion of fixed dunes in the Sahel, central Niger. *Earth Surface Processes and Landforms*. 3. P. 107-113.
- Tavernini, S., Fratta, F.; Sartore, Y. y Rossetti, G. 2003. Distribution and ecology of calanoid species in relation to morphometric and chemical characteristics of lakes and ponds of the Northern Apennines (Italy). *Journal of Limnology*. 62. Pp. 28-34.
- Tchakerian, V. 1999a. Playa. En: Mares, M. (Ed.) *Encyclopedia of Deserts*. University of Oklahoma Press. Norman. Pp. 443-444.
- Terradas, J.; Franquesa, T.; Parés M. y Chaparro, L. 2011. *Ecología urbana*. Recuperado de <http://www.conciencia.herobo.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/03/Ecolog%C3%ADa-urbana.pdf> Consultado el 10 de abril de 2015.
- Thomas, M. y Thorp, M. 1995. Geomorphic response to rapid climatic and hydrologic change during the late Pleistocene and early Holocene in the humid and sub-humid tropics. *Quaternary Science Review*. 14. Pp. 193-207.
- Timms, B. 1992. *Lake Geomorphology*. Australia. Gleneagles Publishing.
- Tiercelin, J. 1991. Natural resources in the lacustrine facies of the Cenozoic rift basin of East Africa. En Anadón, P., Cabrera, LI. y Kelts, K. (Eds.), *Lacustrine Facies Analysis*. IAS Spec. Publications, 13. Pp. 3-37.
- Tomassini, R.; Miño Boilini, A.; Zurita, A.; Montalvo, C. y Cesaretti, N. 2015. Modificaciones fosildiagenéticas en Toxodon platensis Owen, 1837 (Notoungulata, Toxodontidae) del Pleistoceno Tardío de la provincia de Corrientes, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 32 (2). Pp. 283-292.
- Tonni, E. 2007a. *Geología del Cuaternario de las regiones Mesopotámica y Pampeana de la Argentina*. Sessão Geologia Quaternário do rs: Integrando Conhecimentos. Resumos. Pp. 17-18.
- Tonni, E. 2007b. *Mamíferos del Cuaternario de la región Pampeana*. Workshop de Quaternário Do RS “Integrando conhecimentos”. Libro de Resúmenes, Canoas, Brazil. Pp. 48-50.
- Tonni, E.; Carlini, A.; Zurita, A.; Frechen, M.; Gasparini, G.; Budziad, D. y Kruck, W. 2005. *Cronología y bioestratigrafía de las faunas del Pleistoceno aflorantes en el Arroyo*

- Toropí, provincia de Corrientes, Argentina. 2º Congreso Latino-Americanano Paleontología de Vertebrados. Río de Janeiro, Brasil.*
- Toresani, N.; López, H. y Gómez S. 1994. *Lagunas de la provincia de Buenos Aires*. CARIS-INA.
- Torgerssen, T., De Decker, P., Chivas, A.R. y Bowler, J.M. 1986. Salt lakes: A discussion of processes influencing palaeoenvironmental interpretation and recommendations for future study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 54. Pp. 7-19.
- Torremorell, A.; Llames, M.; Pérez, G.; Escaray, R. y Bustigorry, J. 2009. Annual patterns of phytoplankton density and primary production in a large, shallow lake: the central role of light. *Freshwater Biology*. 54. Pp. 437-449.
- Torremorell, A.; Bustigorry, J.; Escaray, R. y Zagarese, H. 2007. Seasonal dynamics of a large, shallow lake, laguna Chascomús: The role of light limitation and other physical variables. *Limnologica*. 37. Pp. 100-108.
- Totth, S. y McCarthy, T. 2007. Wetlands in drylands: Geomorphological and sedimentological characteristics, with emphasis on examples from southern Africa. *Progress in Physical Geography*. 31(1). Pp. 3-41.
- Tricart, J. 1982. El Pantanal: Un ejemplo del impacto de la Geomorfología sobre el medio ambiente. *Geografía*. 7. Pp.37-50.
- Tricart, J. 1973. *La geomorfología de la Pampa Deprimida como base para los estudios edafológicos y agronómicos*. INTA, Buenos Aires.
- Tricart, J. 1954a. Une forme de relief climatique: les sebkhas. *Révue de Géomorphologie Dynamique*. 5. Pp. 97-101.
- Tricart, J. 1954b. Influence des sols salés sur la déflation éolienne en Basse Mauritanie et dans le Delta du Sénégal. *Révue de Géomorphologie Dynamique*. 5. Pp. 124- 132.
- Troll, C. 1939. *Luftbildplan und ökologische Bodenforschung*. Z. Ges. f. Erdkunde, Berlin.
- Turner, J. 1970. *Matemática moderna aplicada. Probabilidades, estadística e investigación operativa*. Alianza Editorial, Madrid.
- Turner, M. y Gardner, R. 1991. An Introduction. En Turner M. y Gardner R. (Eds.) *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York, Springer - Verlag, pp. 3-14.

- Turner, M.; Gardner, R. y O'neill, R. (2001). *Landscape Ecology in theory and practice*. Springer-Verlag, New York.
- Twidale, C. 1972. Evolution of sand dunes in the Simpson Desert, Central Australia. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 56. Pp. 77-109.
- USDA - NRCS. 2010. *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Undécima Edición.
- Van Rooyen, T. y Burger, R. 1973. Physiographic features of the central Orange River basin, with a note on pan formation. *South African Geographer*. 4. Pp. 218–227.
- Vidal, C. y Romero, H. 2010. Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío Bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción. En Pérez, L. e Hidalgo, R. (Eds.). *Concepción metropolitano (AMC). Planes, procesos y proyectos*. Serie Geolibros, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. En prensa.
- Vila, J.; Varga, D.; Llausàs, A. y Ribas, A. (2006): Conceptos y métodos fundamentales en Ecología del Paisaje (Landscape Ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*. 48. Pp. 151-166.
- Vilà, M. 1998. Efectos de la diversidad de especies en el funcionamiento de los ecosistemas. *Orsis*. 13. Pp. 105 – 117.
- Vitek, J. 1983. Classification of Pseudokarst forms in Czechoslovakia. *International Journal of Speleology*. 13. Pp. 1-18.
- Vidal Romaní, J. y Vaqueiro Rodrigues, M., 2007. Types of granite cavities and associated speleothems: genesis and evolution. *Nature Conservation*. 63. 41-46.
- Vollenweider, R. 1990. Eutrophication: Conventional and no conventional considerations and comments on selected topics. *Memorie Dell'istituto Italiano Di Idrobiologia*. 47. Pp. 77-134.
- Walker, B. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology*. 6. Pp. 18-23.
- Washington, R.; Todd, M.; Lizcano, G.; Tegen, I.; Flamant, C.; Koren, I.; Ginoux, P.; Engelstaedter, S.; Bristow, C.; Zender, C.; Goudie, A.; Warren, A. y Prospero, J. 2006. Links between topography, wind, deflation, lakes and dust: The case of the Bodélé Depression, Chad. *Geophysical research letters*. 33. Pp. 1-4.

- Wellington, J. 1945. Notes on the drainage of the Western Free State Sandveld. *South African Geographical Journal*. 27. Pp. 73-77.
- Wetzel, R. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- Wetzel, R. 1979. The role of littoral zone and detritus in lake metabolism. *Archiv für Hydrobiologie-Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, 13. Pp. 145-161.
- Wilby, R y Perry, G. 2006. "Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK". *Progress in Physical Geography* 30 (1). Pp. 73-98.
- Wilson, E.O. 1992. *The diversity of life*. Allen Lane, Penguin. Londres.
- Willems, L.; Compère, Ph.; Hatert, F.; Puclet, A.; Vicat, J.; Ek, C. y Boulvain, F. 2002. Karst in granitic rocks, South Cameron: cave genesis and silica and taranakite speleothems. *Terra Nova*. 14. Pp. 355-362.
- Wray, R., 1999. Opal and chalcedony speleothems on quartz sandstones in the Sydney region, southeastern Australia. *Australian Journal of Earth Science*. 46. Pp. 623-632.
- Yan N., Somers, K., Girard, R. y Gunn, J. 2008. Long-term trends in zooplankton of Dorset, Ontario, lakes: The probable interactive effects of changes in pH, TP, DOC and predators. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 65. Pp. 862-877.
- Yechiel, Y. y Wood, W. 2002. Hydrogeologic processes in saline system: playas, sabkhas and saline lakes. *Geomorphology*. 58. Pp. 343-365.
- Zonneveld, I. 1995. *Land Ecology*. SPB Academic Publishing, Ámsterdam.
- Zurita, A. E. y Lutz, A. I. 2002. La fauna Pleistocena de la Formación Toropí en la provincia de Corrientes (Argentina). *Journal of Neotropical Mammalogy*. 9 (1). Pp. 47-56.

Curriculum Vitae

Profesor en Geografía egresado de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste, Becario Doctoral Cofinanciado (CONICET – UNNE), en el Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CONICET – UNNE), bajo la dirección del Dr. Oscar Orfeo (CECOAL – UNNE) y el Lic. Aldo Raúl Paire (INALI – UNL). Auxiliar Docente de Primera de la Cátedra Geografía Física y Geomorfología de la Carrera Ingeniería en Agrimensura de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste. Adscripto por concurso en la Cátedra Geología de las Carreras Licenciatura y Profesorado en Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura y al Servicio de Extensión de la Cátedra Salud Pública de la Facultad de Veterinarias, ambas de la Universidad Nacional del Nordeste. Representante de la Universidad Nacional del Nordeste ante la Red Argentina de Geografía Física (RAGF), Primer Vocal Titular de la Junta de Geografía de la Provincia de Corrientes, Cuarto Vocal Titular de la Asociación Argentina de Zoonosis delegación NEA y miembro de la Fundación Amado Bonpland.

E-mail: figcontreras@hotmail.com