



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL NORDESTE**

**EVOLUCIÓN DE LAS LAGUNAS DE LA LLANURA ALUVIAL DEL RÍO
PARANÁ MEDIO**

Aldo Raúl Paira

Tesis Doctoral

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

DOCTOR EN GEOGRAFÍA

Director: Prof. Ing. Mario Amsler

Co-Director: Prof. MSc. Edmundo Drago

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

Diciembre de 2017

Dedicatoria

A mi esposa Stella Maris Gonzalez y a mis hijos Nicolás e Ignacio.

A la memoria de mi padre Raúl Antonio Blas Paira y a mi madre Dominga Emilia Müller.

Agradecimientos

Deseo expresar mis agradecimientos, después de tanto camino recorrido, y con el riesgo del olvido, a todos aquellos que de distintas maneras colaboraron conmigo en la producción de esta Tesis.

A mis Directores de Tesis: Mario Amsler, Edmundo Drago y Edgardo Latrubesse, por sus tiempos, empujes contagiosos, por enseñarme y volcar en mí todas sus experiencias.

A los miembros del Jurado: Dres. Norma Meichtry, Oscar Orfeo y María Cintia Piccolo, por las observaciones y correcciones, las cuales mejoraron al original.

A los directores del Instituto Nacional de Limnología: Mercedes Marchese y Pablo Collins, a los compañeros del Laboratorio de Hidroecología (ex Limnología Física): Luis Espínola, Martín Blettler, Elie Abrial, Ana Pía Rabuffetti, Eliana Eberle y Lionel Mehaudy; a los compañeros de campaña: Ramón Regner, Eduardo Lordi, Ulises Molet, Esteban Creus, Marcelo Piacenza y Cristian Debonis, y a los compañeros del INALI por la colaboración y apoyo.

A los decanos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas: Cristóbal Lozeco, Mario Schreider y Raúl Pedraza y a mis colegas, por haberme apoyado en las presentaciones a los Programas de Movilidad Académico-Científica de la Universidad Nacional del Litoral. A los colegas: Norma Lilian Coronel, Mario Gardiol, Silvio Graciani, Hugo Zingaretti, Daniela Montagnini, Carlos Ramonell, Ignacio Cristina, José Stevaux, María Soledad Pereira y Héctor Picatto, por la ayuda y sugerencias durante el desarrollo de la Tesis.

A las instituciones: Universidad Nacional del Litoral, Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Humanidades (UNNE), Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Instituto de Investigaciones Geohistóricas, Departamento de Geografía de la Facultad de Humanidades (UNNE) e Instituto Nacional de Limnología, por el material e información utilizados en esta investigación.

A Norma Meichtry, que sin su apoyo no hubiese concretado mi doctorado y a María Alejandra Fantín, por su comprensión.

A mi colega “lagunero” Félix Ignacio Contreras, por su tiempo y apoyo.

A Edmundo Montagna por contarme parte de su historia en la isla.

A mi esposa e hijos, como también a toda mi familia, por el apoyo, incentivo y tiempo robado a ellos.

EVOLUCIÓN DE LAS LAGUNAS DE LA LLANURA ALUVIAL DEL RÍO PARANÁ MEDIO

Aldo Raúl Paira

Director: Prof. Ing. Mario Amsler

Co-Director: Prof. MSc. Edmundo Drago

El Río Paraná Medio y su llanura aluvial desde la confluencia con el Río Paraguay hasta Diamante (Entre Ríos), tienen una superficie de 15.794 km² y se trabajó con 1.500 lagunas aluviales abarcando el 38,7 % de su superficie.

Para su estudio se dividió al Paraná medio en tres tramos, denominados Norte, Centro y Sur teniendo criterios geológicos, geomorfológicos y topográficos globales que caracterizan a cada uno de ellos en un momento dado de la historia contemporánea del sistema.

En las fotografías aéreas se estudiaron 10 parámetros morfométricos, 4 de conectividad hidrológica, 3 relacionados con la vegetación acuática, arbórea y arbustiva y 2 clasificaciones (genética y formas) de los ambientes leníticos.

Se estudiaron la morfometría, morfología y los factores claves incidentes en la forma y evolución de las mismas mediante técnicas de fotointerpretación con material aerofotográfico de las décadas del '50 y '60, en un estado hidrológico de aguas bajas y medias.

En conjunto, se considera que lo realizado implica, un aporte no menor al conocimiento en la temática de la Tesis que puede servir de base a futuros estudios de similar índole del presentado aquí pero con resultados generalizables a la planicie completa del Río Paraná en su tramo medio, uno de los mayores humedales del mundo.

Palabras Clave: Lagunas, evolución, Río Paraná.

MIDDLE PARANÁ RIVER ALLUVIAL PLAIN'S LAKES EVOLUTION

Aldo Raúl Paira

Supervisor: Prof. Ing. Mario Amsler

Co-Supervisor: Prof. MSc. Edmundo Drago

Middle Paraná River and its floodplain, from the confluence with the Paraguay River to Diamante (Entre Ríos), covers an area of 15,794 km². One thousand and five hundred alluvial lakes were studied covering 38% of its surface area.

To carry out this study the Middle Paraná River basin was divided into three sections: north, center and south following global geological, geomorphological and topographic criteria that characterize each of them at a given moment in the contemporary history of the system.

Ten morphometric parameters, four hydrological connectivity, three related to aquatic, arboreal and shrub vegetation and two classifications (genetics and forms) of lentic environments, were studied from aerial photographs.

Morphometry, morphology and key determinant factors shape and evolution of the alluvial lakes were studied using photointerpretation techniques with aerial photographic material of the '50s and' 60s, in a low and middle water hydrological state.

This work is a contribution to the knowledge of alluvial lakes evolution which may be an important basis for future studies of similar theme to this Thesis, whose result can be transferred to the whole plain of Middle Paraná River, one of the largest wetlands in the world.

Keywords: Alluvial lakes, evolution, Paraná River

Índice

	Página
Capítulo 1: Motivaciones – Objetivos – Hipótesis	1
1.1. Contexto general	1
1.2. Definiciones	1
1.3. Importancia de las lagunas aluviales para la biología acuática	6
1.4. Las lagunas aluviales en el contexto de los procesos de modelado de la llanura aluvial	9
1.5. Antecedentes en la temática de la Tesis	11
1.6. Objetivos de la investigación – Hipótesis	16
Capítulo 2: Descripción del área de estudio	18
2.1. El Río Paraná Medio y su llanura aluvial	18
2.1.1. Características generales del Río Paraná	19
2.1.2. Características climáticas	21
2.1.3. Descripción específica del Río Paraná Medio y su llanura aluvial	24
2.1.4. Geometría de los bloques	26
2.1.5. Características hidrológicas	28
2.1.6. Los sedimentos del lecho	31
2.1.7. Los sedimentos suspendidos	36
2.2. Los tres tramos estudiados (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio	38
2.2.1. Tramo Norte (Confluencia hasta Reconquista-Goya)	42
2.2.2. Tramo Centro (Reconquista-Goya hasta El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné)	45
2.2.3. Tramo Sur (El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné hasta Arocena-Diamante)	51
2.3. Alcances de los resultados	53
Capítulo 3: Fuentes documentales y técnicas - Tratamientos efectuados	55
3.1. Material y métodos	55
3.1.1. Fotografías aéreas	58
3.1.2. Material cartográfico de base y consulta	61
3.1.3. Imágenes satelitarias Landsat	63
3.1.4. Mosaicos semicontrolados	64
3.1.5. Trabajo de campo	64
3.1.6. Parámetros estudiados	64

Capítulo 4: Morfología y morfometría de las lagunas del Río Paraná Medio	74
4.1. Morfología y descripción morfométrica	74
4.2. Morfometría de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio	74
4.2.1. Cálculo de los errores	74
4.2.2. Parámetros morfométricos	80
4.2.3. Índices morfométricos	93
4.3. Variables o condiciones de conectividad hidrológica	101
4.4. Variables de vegetación	107
Capítulo 5: Las lagunas y las Unidades Geomorfológicas	116
5.1. Unidades Geomorfológicas de la planicie del Río Paraná Medio	116
5.1.1. La clasificación de Iriondo (2007)	117
5.1.2. La Clasificación de Marchetti <i>et al.</i> (2013a)	127
5.1.3. Conclusiones con respecto a las Unidades Geomorfológicas	130
5.2. Asociación de las lagunas aluviales con las Unidades Geomorfológicas	131
5.2.1. Las Unidades Geomorfológicas en los tramos Norte, Centro y Sur	131
5.2.2. Origen y tipos de lagunas aluviales	134
5.2.3. Análisis de la morfometría de las lagunas aluviales en las Unidades Geomorfológicas	137
5.2.4. Análisis de la cobertura de vegetación acuática, distribución perimetral de árboles y arbustos en las lagunas aluviales	146
5.2.5. Análisis de la conectividad hidrológica de las lagunas aluviales	149
5.2.6. Análisis de la morfología de las lagunas aluviales en los tramos Norte, Centro y Sur	151
5.2.7. Análisis de las Formas de las lagunas aluviales en las Unidades Geomorfológicas	160
Capítulo 6: Evolución de las lagunas aluviales: Principales factores Intervinientes y procesos	162
6.1. Introducción	162
6.2. Factores condicionantes de la evolución de las lagunas aluviales	166
6.2.1. Factores externos o exógenos	173
6.2.1.1. Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes	173
6.2.1.2. Neotectónica	178
6.2.1.3. Nivel freático	180
6.2.2. Factores internos o endógenos	180
6.2.2.1. Ubicación de la laguna en la unidad geomorfológica	180
6.2.2.2. Distancia al cauce principal del Río Paraná y/o a los	

cauces secundarios	192
6.2.2.3. Orientación	194
6.2.2.4. Conectividad	195
6.2.2.5. Precipitaciones locales	202
6.2.3. Factores morfométricos y bióticos	202
6.2.3.1. Área de la superficie lagunar y profundidad máxima	202
6.2.3.2. Cobertura de la vegetación acuática	203
6.2.3.3. Distribución perimetral de árboles	214
6.2.3.4. Distribución perimetral arbustiva	219
6.2.3.5. El hombre	225
6.2.4. Factor reinicio	234
6.3. Aplicación del modelo de factores incidentes en la evolución de las lagunas aluviales	235
Capítulo 7: Discusión y Conclusiones	249
Anexo	264
Bibliografía	267
Currículum Vitae	

Lista de Tablas

N°	Título	Página
2.1.	Características granulométricas del sedimento del Río Paraná en el thalweg desde Itá Ibaté (Corrientes, rkm 1380) hasta Arroyo Seco (Santa Fe, rkm 389).	32
2.2.	Características granulométricas del sedimento del río Paraguay en el thalweg desde Asunción (Paraguay, rkm 0) hasta Confluencia (Argentina, rkm 390).	34
2.3.	Características granulométricas del material del lecho en el valle del Paraná Medio, media aritmética y desvío estándar.	35
2.4.	División de los tramos, indicando el inicio y la finalización geográfica, superficie (km ²) de cada tramo y trabajada (km ²), porcentaje y longitud (km) de cada tramo en el Río Paraná.	40
2.5.	Síntesis de las variables trabajadas para la selección de cada tramo en la planicie aluvial del Río Paraná Medio.	53
3.1.	Fotografías aéreas trabajadas en el desarrollo de la tesis.	57
4.1.	Errores en las mediciones de las áreas de círculos de varios tamaños. Siendo "Ø" el diámetro del círculo.	75
4.2.	Errores en las mediciones de las áreas de cuadrados de varios tamaños. Siendo "L" la longitud del lado del cuadrado.	75
4.3.	Errores en las mediciones de las áreas de triángulos equiláteros de varios tamaños. Siendo "L" la longitud del lado del triángulo.	75
4.4.	Errores absolutos (%) y áreas (km ²) para círculos de distinto diámetro.	76
4.5.	Áreas (km ²) y errores absolutos para cuadrados de distinto lado.	76
4.6.	Áreas (km ²) y errores absolutos para triángulos de distinto lado.	77
4.7.	Errores en las mediciones de los perímetros de circunferencias de varios tamaños. Siendo "Ø" el diámetro de la circunferencia.	77
4.8.	Errores en las mediciones de los perímetros de cuadrados de varios tamaños. Siendo "L" la longitud del lado del cuadrado.	77
4.9.	Errores en las mediciones de los perímetros de triángulos de varios tamaños. Siendo "L" la longitud del lado del triángulo.	77
4.10.	Perímetros (km) y errores absolutos para circunferencias de distinto diámetro.	78
4.11.	Perímetros (km) y errores absolutos para cuadrados de distinto lado.	79
4.12.	Perímetros (km) y errores absolutos para triángulos de distinto lado.	79
4.13.	Estadística descriptiva del área en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	80

4.14.	Estadística descriptiva del perímetro en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	82
4.15.	Estadística descriptiva de la longitud máxima en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	84
4.16.	Estadística descriptiva del fetch en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	86
4.17.	Estadística descriptiva del ancho máximo en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	88
4.18.	Estadística descriptiva del ancho medio en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	90
4.19.	Estadística descriptiva de la profundidad máxima en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	91
4.20.	Estadística descriptiva de la relación I_m/a_m en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	93
4.21.	Valores medios de I_m/a_m y I_m/a de las lagunas en los tres tramos del río Paraná Medio.	95
4.22.	Estadística descriptiva del índice de desarrollo de la línea de costa (D_L , adimensional), para 1.500 lagunas.	96
4.23.	Estadística descriptiva del desarrollo de la línea de costa (D_L , adimensional) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	97
4.24.	Valores de correlación lineal del D_L con el índice de alargamiento (I_m/a_m), el perímetro (P) y la longitud máxima (I_m) de las lagunas en los tres tramos del río Paraná Medio (Norte, Centro y Sur).	99
4.25.	Estadística descriptiva de la profundidad relativa en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	99
4.26.	Estadística descriptiva del número de tributarios y emisarios en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	102
4.27.	Porcentajes de lagunas de acuerdo a la conectividad en los tres tramos del río Paraná Medio.	103
4.28.	Estadística descriptiva de las distancias al cauce principal (km; para 453 lagunas) y a un cauce secundario (km; para 154 lagunas) en el tramo Norte del valle aluvial del Río Paraná Medio.	103
4.29.	Estadística descriptiva de las distancias al cauce principal (km; para 861 lagunas) y a un cauce secundario (km; para 306 lagunas) en el tramo Centro del valle aluvial del Río Paraná Medio.	104
4.30.	Estadística descriptiva de las distancias al cauce principal (km; para 69 lagunas) y a un cauce secundario (km; para 53 lagunas) en el tramo Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	106
4.31.	Estadística descriptiva de la cobertura de vegetación acuática (%) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	107
4.32.	Estadística descriptiva de la distribución perimetral de árboles (%) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	110
4.33.	Estadística descriptiva de la distribución perimetral de arbustos (%) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná	113

Medio.

5.1.	Superficies medidas (km ²) de las distintas Unidades Geomorfológicas (Iriondo, 2007) en cada tramo, superficies efectivas de cada tramo (km ²) con las diferencias entre ambas y longitud de cada tramo en el Río Paraná Medio.	132
5.2.	Superficies medidas (km ²) de las distintas Unidades Geomorfológicas (Iriondo, 2007) del Río Paraná Medio en cada tramo estudiado.	133
5.3.	Clasificación de Tipos de lagunas (Drago, 1976) y porcentajes para cada tramo según su presencia en la llanura de inundación del Río Paraná Medio.	134
5.4.	Número de lagunas estudiadas, superficies efectivas trabajadas con las fotografías aéreas, superficies de las Unidades Geomorfológicas, porcentajes de las áreas trabajadas y número de lagunas por km ² en relación con la superficie efectiva trabajada del Río Paraná Medio.	138
5.5.	Estadística descriptiva del área (km ²) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio	138
5.6.	Área lenítica (km ²) y porcentaje en cada Unidad Geomorfológica.	139
5.7.	Estadística descriptiva del perímetro (km) de las lagunas, ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	141
5.8.	Estadística descriptiva de la longitud máxima (km) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	143
5.9.	Estadística descriptiva del Fetch (km) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	143
5.10.	Estadística descriptiva del ancho máximo (km) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	144
5.11.	Estadística descriptiva de la profundidad máxima (m) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	144
5.12.	Estadística descriptiva de la relación longitud máxima/ancho máximo (adimensional) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	145
5.13.	Estadística descriptiva del desarrollo de la lista de costa (adimensional) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	146
5.14.	Estadística descriptiva de la profundidad relativa (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	146
5.15.	Estadística descriptiva de la cobertura de vegetación acuática (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	147

5.16.	Estadística descriptiva de la distribución perimetral de árboles (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	147
5.17.	Estadística descriptiva de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	148
5.18.	Estadística descriptiva del número de tributarios/emisarios de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	149
5.19.	Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Llanura de Bancos del Río Paraná Medio.	149
5.20.	Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Llanura de Meandros del Río Paraná Medio.	150
5.21.	Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Llanura de Drenaje Impedido del Río Paraná Medio.	150
5.22.	Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Depósitos Antiguos (Terrazas) del Río Paraná Medio.	150
5.23.	Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Deltas de Tributarios del Río Paraná Medio.	151
5.24.	Clasificación de formas de lagunas en la llanura aluvial del río Paraná Medio (Paira y Drago, 2006 y 2007).	152
5.25.	Porcentajes de lagunas por tramos (Norte, Centro y Sur) según la clasificación de Formas: Redondas-Ovaladas, Alargadas e Irregulares (Paira y Drago, 2006).	158
5.26.	Porcentajes de lagunas por tramos (Norte, Centro y Sur) según la clasificación de formas, dentro de las Redondas-Ovaladas: Circular-Elíptica y Gota, dentro de las Alargadas: Alargadas Finas y Alargadas Anchas, e Irregulares (Paira y Drago, 2006, 2007).	159
5.27.	Porcentajes de lagunas por unidad geomorfológica según la clasificación de Formas (Paira y Drago, 2006).	160
6.1.	Factores incidentes en la evolución de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio.	171
6.2.	Puntos acotados IGN en la unidad geomorfológica de Llanura de Bancos en los Tramos Centro y Sur, con coordenadas y cotas IGN de los Ceros de las escalas hidrométricas de Hernandarias, Paraná y Diamante (SSPyVN).	181
6.3.	Niveles hidrométricos (m) y área lenítica (km ²) en el área de estudio del Arroyo Catarata (Santa Fe).	199
6.4.	Niveles hidrométricos y área lenítica en la Isla La Rinconada, San Javier (Santa Fe).	201
6.5.	Valores del área de las lagunas en los tres tramos del Río Paraná Medio (áreas media, mínima y máxima, porcentaje de lagunas con áreas hasta 0,50 km ² y hasta 1,50 km ² , superficie cubierta por las lagunas y número de lagunas trabajadas en cada tramo).	202

6.6.	Valores de la profundidad máxima de las lagunas en los tres tramos del río Paraná Medio (profundidad máxima media, mínima y máxima, porcentaje de lagunas con profundidades máximas hasta 0,50 m, hasta 1,50 m y hasta 3,50 m y número de lagunas trabajadas en cada tramo).	203
6.7.	Frecuencias (%) de la cobertura de vegetación acuática (%) en cada tramo (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio.	208
6.8.	Frecuencias (%) de la distribución perimetral de árboles (%) en cada tramo (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio.	216
6.9.	Frecuencias (%) de la distribución perimetral de arbustos (%) en cada tramo (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio.	221
6.10.	Áreas de las lagunas La Cuarentena y La Mira en función del nivel hidrométrico (NH) del Puerto de Paraná.	241
6.11.	Años y cotas de los niveles hidrométricos máximos en Santa Fe.	247
6.12.	Factores evolutivos y su aplicación en cuatro lagunas aluviales, La Cuarentena, La Mira, El Puesto y El Tigre.	248
7.1.	Valores de la media del <i>área (A)</i> , <i>perímetro (P)</i> , <i>longitud máxima (l_m)</i> , <i>fetch (F)</i> , <i>ancho máximo (a_m)</i> , <i>ancho medio (a)</i> <i>profundidad máxima (z_m)</i> , <i>relación longitud máxima/ancho máximo (l_m/a_m)</i> , <i>desarrollo de la línea de costa (D_L)</i> y <i>profundidad relativa (z_r)</i> .	249
7.2.	Porcentaje de lagunas según el tipo de conexión para los distintos tramos del Río Paraná Medio (1.500 lagunas).	250
7.3.	Media aritmética de los parámetros morfométricos medidos en las lagunas aluviales del Río Paraná Medio.	255
7.4.	Promedios porcentuales de la <i>cobertura de vegetación acuática</i> , <i>distribución perimetral de árboles</i> y <i>distribución perimetral de vegetación arbustiva</i> medidos en las lagunas aluviales del Río Paraná Medio.	256
7.5.	Cantidad de lagunas según el tipo de conexión en las distintas unidades geomorfológicas del Río Paraná Medio.	257

Lista de Figuras

N°	Título	Página
1.1.	Imágenes satelitales Landsat del río Paraná Medio en aguas medias del 8 de noviembre de 1981 (izquierda) y aguas altas del 1 de octubre de 1983 (derecha).	4
1.2.	Fotografía tomada de la misma laguna en dos fechas y niveles hidrométricos distintos (10 de agosto 2010, NH = 3,16 m y 21 octubre 2010, NH = 2,86 m del Puerto de Santa Fe).	5
2.1.	Cuenca de drenaje del Río Paraná. Fuente: Iriondo y Paira, 2007.	18
2.2.	Situación del Río Paraná en su tramo medio.	21
2.3.	Precipitaciones medias anuales.	22
2.4.	Temperaturas medias del aire para el mes de enero.	23
2.5.	Temperaturas medias del aire para el mes de julio.	24
2.6.	Localización de los bloques y sus características según Iriondo (2007) en el tramo medio del Río Paraná.	27
2.7.	Diagrama de aportes de la cuenca del Río Paraná en su tramo medio.	28
2.8.	Confluencia del Río Paraguay y del Río Paraná en su tramo superior, en donde se puede apreciar las diferencias de caudales de cada uno de ellos y su carga de sedimentos.	29
2.9.	Aportes de caudales en porcentaje de cada margen y del curso principal del río Paraná en su tramo medio.	30
2.10.	Caudales mínimos anuales para el período 1904-2016 del Río Paraná Medio en la ciudad de Paraná (Entre Ríos).	31
2.11.	Diámetro medio de los sedimentos del lecho del Río Paraná en el thalweg desde Itá Ibaté (Corrientes, rkm 1380) hasta Arroyo Seco (Santa Fe, rkm 389).	32
2.12.	Diámetro medio de los sedimentos del lecho del río Paraguay en el thalweg desde Asunción (Paraguay, rkm 0) hasta Confluencia (Argentina, rkm 390).	34
2.13.	Variaciones temporales en el cauce principal del Río Paraná en los años 1976-77 de la transparencia del agua (T), caudal (Q), concentración total de sedimentos suspendidos (TCS), concentración de arcilla (CC) y concentración de limo (CS).	37
2.14.	Variaciones temporales en el cauce principal del Río Paraná en los años 1976-77 de la transparencia del agua (T), caudal (Q), concentración total de sedimentos suspendidos (TCS), concentración de arcilla (CC) y concentración de limo (CS).	37
2.15.	Localización de los Tramos: Norte, Centro y Sur en el Río Paraná Medio.	41

2.16.	Localización de las áreas trabajadas en la llanura aluvial (marcadas con líneas amarillas), correspondientes a las fotografías aéreas de las décadas del '50 y '60 en la zona de estudio (llanura aluvial y cauce principal del río Paraná Medio).	42
2.17.	Localización del Tramo Norte en el Río Paraná Medio.	43
2.18.	Perfil longitudinal de la planicie de inundación del Río Paraná Medio desde Corrientes hasta Diamante siguiendo una línea imaginaria por el centro de la planicie con cotas IGN.	44
2.19.	Perfil hidráulico del Río Paraná entre Corrientes y Rosario.	45
2.20.	Localización del Tramo Centro en el Río Paraná Medio.	45
2.21.	Ubicación del Arroyo Leyes, Río Colastiné y finalización del Tramo Centro y comienzo del Tramo Sur en la planicie aluvial del Río Paraná Medio.	47
2.22.	Mosaico topográfico de la planicie aluvial del Río Paraná en la zona de El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné (km 640) con las cartas topográficas 3160-27-1 y 3160-27-2 del IGN.	47
2.23.	Expansión del delta del Arroyo Leyes, años 1984 – 2009. HhPP: alturas hidrométricas en el Puerto de Paraná.	48
2.24.	Mosaico satelital de un tramo de la planicie aluvial del Río Paraná en la zona de las localidades de Santa Elena, Hernandarias, Helvecia y Cayastá (km 690).	49
2.25.	Curvas de nivel con equidistancia de 0,5 m, desde Goya hasta el Río Colastiné, generadas con el programa QGIS y cotas IGN de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	49
2.26.	Localización del Tramo Sur en el Río Paraná Medio.	51
2.27.	Dirección de las pendientes transversales (flechas amarillas) hacia el centro de la unidad geomorfológica “Deltas de Tributarios” (Iriondo, 2007) en donde se encuentran las cotas mínimas formando el “Eje de cotas mínimas”.	52
3.1.	Croquis de dos lagunas en donde se muestra la longitud máxima (l_m), el ancho máximo (a_m) y el fetch (f).	66
3.2.	Representaciones gráficas del <i>índice de desarrollo de la línea de costa</i> (D_L) para tres posibles formas diferentes de laguna.	68
4.1.	Histograma de frecuencias del área superficial (km^2), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	81
4.2.	Histograma de frecuencias del perímetro (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	83
4.3.	Histograma de frecuencias de la longitud máxima (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	84
4.4.	Regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) de la longitud máxima (km) y la raíz cuadrada del área (km^2) con logaritmo base 10, para 1.500 lagunas (A), 505 lagunas del tramo Norte (B), 917	85

	lagunas del tramo Centro (C) y 78 lagunas del tramo Sur (D) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	
4.5.	Histograma de frecuencias del fetch (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	86
4.6.	Regresión lineal y coeficiente de determinación de la longitud máxima (km) y el fetch (km) con logaritmo base 10, para 1.500 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.	87
4.7.	Histograma de frecuencias del ancho máximo (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	89
4.8.	Histograma de frecuencias del ancho medio (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	90
4.9.	Histograma de frecuencias de la profundidad máxima (m), para 280 lagunas del tramo Norte (A), 515 lagunas del tramo Centro (B) y 35 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	92
4.10.	Histograma de frecuencias de la relación I_m/a_m para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	94
4.11.	Representación gráfica del índice de desarrollo de la línea de costa (D_L) para cuatro formas hipotéticas de lagunas.	96
4.12.	Histograma de frecuencias del desarrollo de la línea de costa (D_L) para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	98
4.13.	Histograma de frecuencias de la profundidad relativa (%), para 280 lagunas del tramo Norte (A), 515 lagunas del tramo Centro (B) y 35 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	99
4.14.	Tipos de conexiones lóaticas-leníticas.	101
4.15.	Histograma de frecuencias de las distancias al cauce principal (km; A) y al cauce secundario (km; B) para 453 lagunas y 153 lagunas, respectivamente, en el tramo Norte del valle aluvial del Río Paraná Medio.	104
4.16.	Histograma de frecuencias de las distancias al cauce principal (km; A) y al cauce secundario (km; B) para 861 lagunas y 306 lagunas, respectivamente, en el tramo Centro del valle aluvial del Río Paraná Medio.	105
4.17.	Histograma de frecuencias de las distancias al cauce principal (km; A) y al cauce secundario (km; B) para 69 lagunas y 53 lagunas, respectivamente, en el tramo Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.	106
4.18.	Histograma de frecuencias de la cobertura de la vegetación acuática (%), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 901 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	108

4.19.	Cobertura de la vegetación acuática y el área superficial para 505 lagunas del tramo Norte (A), 901 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	109
4.20.	Cobertura de la vegetación acuática (%) y el desarrollo de la línea de costa (D_L) para 1.500 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.	109
4.21.	Histograma de frecuencias de la distribución perimetral de árboles (%), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 901 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	110
4.22.	Distribución perimetral de árboles (%) y el área (km^2), para 973 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.	111
4.23.	Distribución perimetral de árboles (%) y la relación longitud máxima/ancho máximo (l_m/a_m , adimensional), para 973 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.	112
4.24.	Histograma de frecuencias de la distribución perimetral de arbustos (%), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 201 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.	113
4.25.	Distribución perimetral de arbustos (%) y el área (km^2), para 784 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.	114
4.26.	Distribución perimetral de arbustos (%) y la relación longitud máxima/ancho máximo (adimensional), para 784 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.	115
5.1.	Principales líneas de falla que afectan el sistema Paraná-Paraguay (Iriondo, 1987).	116
5.2.	Unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio, desde la confluencia del río Paraguay con el Paraná hasta el sur de Empedrado (28° S) y desde los $28^\circ 20'S$ hasta los $29^\circ 25'S$ (Iriondo, 2007).	117
5.3.	Unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio, desde los $28^\circ 25'S$ hasta los $30^\circ 20'S$ y desde los 31° S hasta Diamante (Iriondo, 2007).	118
5.4.	Unidad geomorfológica Llanura de Bancos (Iriondo, 2007).	119
5.5.	Unidad Geomorfológica Llanura de Meandros (Iriondo, 2007).	120
5.6.	Unidad geomorfológica Llanura de Drenaje Impedido (Iriondo, 2007).	122
5.7.	Unidad geomorfológica Depósitos Antiguos (Iriondo, 2007).	124
5.8.	Unidad geomorfológica Deltas de Tributarios (Iriondo, 2007).	125
5.9.	Unidades geomorfológicas de un tramo de la llanura aluvial del río Paraná medio desde los $31^\circ 08'S$ hasta $31^\circ 58'S$ (Marchetti <i>et al.</i> , 2013a).	127
5.10.	Superficies medidas (km^2) de las distintas unidades geomorfológicas del Río Paraná Medio por tramo (Iriondo, 2007).	133

5.11.	Cantidad de lagunas (%) en función de la clasificación genética de Tipos de lagunas de la planicie de inundación del Río Paraná Medio (Drago, 1976; 1.500 lagunas).	135
5.12.	Número de lagunas (%) en función de la clasificación genética de Tipos de lagunas de Drago (1976) para cada tramo (Norte, Centro y Sur) de la planicie de inundación del Río Paraná Medio (1.500 lagunas).	136
5.13.	Histograma de frecuencias absolutas del área superficial (km ²) para las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	140
5.14.	Histograma de frecuencias absolutas del perímetro (km) para las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio.	142
5.15.	Lagunas de Formas Redondas-Ovaladas (Paira y Drago, 2006). A : Circular-Elíptica con $D_L = 1$ a 1,29. B : Forma de “gota” con $D_L = 1,30$ a 1,99. C : Laguna de Albardón (indicada con la flecha roja) en la Isla El Grillo (31°49’47” S y 60°42’17” O), Río Paraná.	152
5.16.	Lagunas con Formas Redondas-Ovaladas. A1 : Lagunas Circulares y Elípticas en áreas antiguas, B1 : Laguna con forma de “gota” en una isla del cauce principal del Río Paraná, fd: dirección de la corriente del agua.	153
5.17.	Lagunas de Cauces Abandonados: A , 1 y 2. Lagunas Alargadas Finas: B , 1 y 2 (laguna “espina de pescado”).	155
5.18.	Lagunas de Forma Irregular en la Llanura aluvial del Río Paraná Medio. A : 1, formadas por la anexión de varias Lagunas de Espiras (Alargadas Finas); 2, relictos de albardones e islotes. B : 1 y 2, formadas por el adosamiento de bancos e islas de cauce.	156
5.19.	Unidad Geomorfológica Deltas de Tributarios en el Tramo Sur con red de diseño anastomosado (incluida dentro de la elipse amarilla en la imagen satelital).	157
5.20.	Cantidad de lagunas por tramo expresadas en porcentajes según la clasificación de Paira y Drago (2006).	158
5.21.	Cantidad de lagunas por tramo, expresadas en porcentaje según la clasificación de Formas, las Redondas-Ovaladas, dentro de las Alargadas: Alargadas Finas y Alargadas Anchas, y las Irregulares (Paira y Drago, 2006, 2007).	159
5.22.	Cantidad de lagunas por unidad geomorfológica, expresadas en porcentaje según la clasificación de Formas, Redondas-Ovaladas (R-O), Alargadas (A) e Irregulares (I) (Paira y Drago, 2006, 2007).	160
6.1.	Interrelaciones en el sistema fluvial.	163
6.2.	Intercambios aluviales en ríos grandes: (a-e): depósitos en la Llanura de inundación, (f, g, i): intercambios que implican al cauce principal y (h): depósitos dentro del cauce principal y (j): tributarios).	164
6.3.	Interrelaciones en el sistema fluvial (adaptado de Knighton, 1998).	165
6.4.	Factores externos o exógenos a la Llanura aluvial del Río Paraná Medio.	167

6.5.	Factores internos o endógenos de un tramo de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	168
6.6.	Factores morfométricos y bióticos de las lagunas aluviales de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	169
6.7.	Modelo conceptual de factores <i>externos o exógenos, internos o endógenos, morfométricos y bióticos y reinicio</i> que inciden en la evolución de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio.	172
6.8.	Ejemplos de interrelaciones de factores incidentes en la evolución lagunar.	173
6.9.	Evolución histórica del nivel hidrométrico medio anual del Río Paraná en Puerto Paraná en metros sobre el nivel del mar.	174
6.10.	Evolución en el diseño de drenaje.	176
6.11.	Perfil longitudinal realizado con sonda ecógrafa en un pozo de pie de albardón.	177
6.12.	Laguna Coronda (laguna tectónica-fluvial).	180
6.13.	Ubicación de los puntos acotados de la Tabla 6.2 en la unidad geomorfológica de Llanura de Bancos (Iriondo, 2007) en los Tramos Centro y Sur de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	182
6.14.	Curvas de nivel desde Hernandarias hasta Diamante en la llanura aluvial del Río Paraná Medio con una equidistancia de 0,50 m.	183
6.15.	Laguna de adosamiento de forma irregular indicada con la flecha roja (Km 560 del Río Paraná, Isla Sirgadero, Provincia de Santa Fe, 31°55'S y 60°42'O).	184
6.16.	Desarrollo de meandros en la topografía de "bajos y lomadas" en la unidad Llanura de Meandros de la llanura aluvial del Río Paraná Medio (31°36'S y 60°25'O).	184
6.17.	Perfiles longitudinal (A-A') y transversal (B-B') en la Unidad Llanura de Meandros, en el Tramo Sur de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	186
6.18.	Perfil transversal tipo de un desarrollo de meandro en el valle del Río Paraná Medio frente a Empedrado (Corrientes).	186
6.19.	Lagunas de Espiras o Alargadas Finas convertidas en Pantanos (indicadas con flechas rojas), Isla Santa Cándida, 31°40'S y 60°29'O.	187
6.20.	Laguna Irregular formada por anexión de varias lagunas de Espiras o Alargadas Finas con el resto de lomadas en el espejo de agua (formando "islas") que anteriormente eran los albardones de cada laguna de Espira (Río Coronda, Provincia de Santa Fe, 31°50'S y 60°47'O).	188
6.21.	Laguna Irregular formada por la anexión de lagunas de Espiras o Alargadas Finas con el resto de los albardones en su espejo de agua (Km 1147 del Río Paraná Medio, Provincia del Chaco, 27°54'S y 58°54'O).	188
6.22.	Laguna Irregular por anexión de Espiras con el resto de sus anteriores albardones en su espejo de agua y con "islotas" en su interior indicados con flechas rojas (Río Paraná Medio, Provincia del Chaco, 27°23'S y 58°48'O).	189

6.23.	Lagunas de Meandro o Alargadas Anchas indicadas con flechas rojas (Isla Cañas, Provincia de Santa Fe, 31°40'S y 60°37'O).	189
6.24.	Lagunas Irregulares de meandros y de adosamientos (flechas rojas) en áreas de diseño anastomosado en la unidad Deltas de Tributarios del Río Paraná Medio (Sauce Viejo, Provincia de Santa Fe, 31°50'S y 60°47'O).	190
6.25.	Lagunas Irregulares de meandros y de adosamientos (flechas rojas) en áreas de diseño anastomosado (fotografía aérea oblicua de la misma zona de la Figura 6.24).	191
6.26.	Perfiles longitudinal (A-A') y transversales (B-B' y C-C') y curvas de nivel con equidistancia de 0,50 m en la unidad Deltas de Tributarios de la llanura aluvial del Río Paraná Medio (31°50'S y 60°46'O).	191
6.27.	Cambios en la transparencia del agua, concentración de sedimentos suspendidos y velocidad de la corriente, durante el comienzo de la fase de desborde (24/03/1977) en el Río Paraná y en la Laguna La Cuarentena.	193
6.28.	Cambios en la transparencia del agua y concentración de sedimentos suspendidos y velocidad de la corriente, durante el comienzo de El Niño (ENSO, 06/05/1982) en el Río Paraná y en la laguna La Cuarentena.	193
6.29.	Laguna alargada orientada paralela a la dirección de la corriente del agua (flecha negra) del Río Paraná (Km 560 del Río Paraná, Isla del Tragadero, Provincia de Santa Fe, 31°55'S y 60°42'O).	194
6.30.	Tipos de conexiones de las lagunas aluviales en cada tramo (Norte, Centro y Sur) en la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	196
6.31.	Grado y tipo de conexión en dos lagunas en la llanura aluvial del Río Paraná Medio (Km 560 del Río Paraná, Isla Sirgadero, Provincia de Santa Fe, 31°55'S y 60°42'O).	196
6.32.	Análisis de afectación hídrica en el área de estudio del Arroyo Catarata (Santa Fe) en la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	198
6.33.	Área lenítica (km ²) en función del nivel hidrométrico del Puerto de Santa Fe.	198
6.34.	Análisis de afectación hídrica de la Isla La Rinconada, San Javier (Santa Fe) en la unidad Deltas de Tributarios de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	200
6.35.	Área lenítica (km ²) en función del nivel hidrométrico del Río San Javier (San Javier, Santa Fe).	201
6.36.	Laguna aluvial en donde se puede apreciar la vegetación acuática, semiacuática y terrestre en la fase de estiaje.	204
6.37.	Cobertura de la vegetación acuática (CVA) que cubren las lagunas en porcentaje de la superficie lagunar en función del área, perímetro, relación entre longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa, profundidad máxima, distribución perimetral de árboles y de arbustos.	205
6.38.	Cobertura de la vegetación acuática (CVA) que cubren las lagunas en porcentaje de la superficie lagunar por forma de laguna (Paira y Drago, 2007) en función del área.	207

6.39.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (1.484 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	208
6.40.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (1.484 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) por forma de laguna (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular) en la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	209
6.41.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (505 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) para el Tramo Norte por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	210
6.42.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (901 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) para el Tramo Centro por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	210
6.43.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (78 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) para el Tramo Sur por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	211
6.44.	Proceso de redondeamiento desde 1954 a 2016 por eliminación de las irregularidades de la línea de costa por la vegetación acuática y palustre, sedimentación, etc., en una laguna en la Isla Cañas, Santa Fe (31°40'S y 60°37'O).	212
6.45.	Proceso de redondeamiento desde 1954 a 2006 por anexión y eliminación de las irregularidades de la línea de costa por la vegetación acuática y palustre, sedimentación, etc., en una laguna ubicada en 27°53'17"S y 58°53'27"O frente a Empedrado (Corrientes).	213
6.46.	Distribución de los árboles en el perímetro de las lagunas (DPA) en porcentaje del perímetro que ocupan en función del área, perímetro, relación entre la longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa y profundidad máxima.	214
6.47.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (973 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	215
6.48.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (973 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) por forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	217
6.49.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (505 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) para el Tramo Norte por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	218
6.50.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (390 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) para el Tramo Centro por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	218

6.51.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (78 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) para el Tramo Sur por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	219
6.52.	Distribución de la vegetación arbustiva en el perímetro de las lagunas (DPa) en porcentaje del perímetro que ocupan en función del área, perímetro, relación entre la longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa y profundidad máxima.	220
6.53.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (784 lagunas) en función de la distribución perimetral de arbustos (% del perímetro) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	221
6.54.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (784 lagunas) en función de la distribución perimetral de arbustos (% del perímetro) por forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	222
6.55.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (505 lagunas) en función de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) para el Tramo Norte por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	223
6.56.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (201 lagunas) en función de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) para el Tramo Centro por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	223
6.57.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (78 lagunas) en función de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) para el Tramo Sur por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).	224
6.58.	Presencia de árboles en el perímetro lagunar comportándose como barrera física contra la corriente del agua en inundaciones (línea de trazos celeste).	225
6.59.	Mapa de principios del Siglo XX con la ubicación de la traza del canal de acceso al puerto de la ciudad de Santa Fe.	228
6.60.	Ubicación del nuevo puerto de la ciudad de Santa Fe con los principales accesos viales a construir (en color rojo y amarillo) y existentes (en color blanco).	229
6.61.	Ubicación del corte transversal al canal de acceso del Puerto de Santa Fe provocado por la creciente de 1982-83 (Prendes <i>et al.</i> , 2005).	230
6.62.	Ubicación del Canal de acceso al Puerto de Santa Fe en las imágenes satelitales Landsat del Río Paraná Medio en aguas medias del 8 de noviembre de 1981 (izquierda) y aguas altas del 1 de octubre de 1983 (derecha).	230
6.63.	Ubicación del Río Correntoso (circunferencia amarilla) cuya embocadura se encuentra frente a la ciudad de Santa Fe y su desembocadura frente a la ciudad de Santo Tomé.	231
6.64.	Secuencia de aerofotografías e imagen satelital de los ríos Santa Fe y Correntoso desde 1954 hasta 2008.	232

6.65.	Factor de reinicio en las lagunas aluviales de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	234
6.66.	Ubicación de la laguna La Cuarentena (31°42'S y 60°38'O).	235
6.67.	Batimetría de la laguna La Cuarentena, equidistancia: 1 m. Las flechas indican la dirección de la corriente del agua.	236
6.68.	Laguna La Cuarentena (Isla Carabajal).	237
6.69.	Evolución de la Laguna La Cuarentena (Isla Carabajal) considerando los años 1980, 2006 y 2014. La línea continua del perímetro corresponde al año 1980, la línea de trazos al año 2006 y la de puntos para el año 2014.	238
6.70.	Proceso de redondeamiento desde 1980 a 2014 por eliminación de las irregularidades de la línea de costa por la vegetación acuática y palustre, sedimentación, etc., en la laguna La Cuarentena (Isla Carabajal).	239
6.71.	Ubicación de las lagunas La Cuarentena y La Mira en la Isla Carabajal en el año 1954.	239
6.72.	Batimetría de la laguna La Mira. Equidistancia 0,5 m, E1, E2 y E3: puntos muestreo de la autora.	240
6.73.	Áreas de las lagunas La Cuarentena y La Mira para 4 niveles hidrométricos del río (hidrómetro del Puerto de Paraná, Entre Ríos).	241
6.74.	Incrementos del área de las lagunas La Cuarentena y La Mira en función del nivel hidrométrico del Puerto de Paraná, con las ecuaciones lineales y el coeficiente de determinación para cada una de ellas.	241
6.75.	Génesis y evolución de la laguna El Puesto en los años 1954, 1993 y 2006 (Isla Carabajal, 31°43'45"S y 60°39'10"O).	243
6.76.	Ubicación de la laguna El Tigre, Santa Fe (31°41'07"S y 60°42'52"O).	244
6.77.	Relevamiento batimétrico de la laguna El Tigre, equidistancia 0,50 m.	245
6.78.	Avance y retroceso de la vegetación acuática desde 1987 a 2016 en la laguna El Tigre.	246
7.1.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (1.484 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	251
7.2.	Número de lagunas sobre el total de lagunas (973 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	252
7.3.	(Figura 6.53, en el Capítulo 6): Número de lagunas sobre el total de lagunas (784 lagunas) en función de la distribución perimetral de arbustos (% del perímetro) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.	253
7.4.	Modelo de asociación entre las Unidades Geomorfológicas y las Formas de lagunas aluviales del Río Paraná Medio.	258

- 7.5. (Figura 6.7, del Capítulo 6): Modelo conceptual de factores *externos o exógenos, internos o endógenos, morfométricos y bióticos y reinicio* que inciden en la evolución de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio. 259

Capítulo 1: Motivaciones - Objetivos - Hipótesis

1.1. Contexto general

Del total de agua en nuestro planeta, esencial para la vida, solo el 2,5 % es agua dulce concentrada en las grandes masas continentales. En efecto, el 2% se encuentra en los ríos, el 11% en los humedales, el 87% en los lagos y el 0,3 % se encuentra dispersa en la superficie terrestre (Oki y Kanae, 2006). Esta proporción minúscula de agua dulce sustenta por lo menos el 6% del total de todas las especies (siendo mayor a 100.000 aproximadamente; Dudgeon *et al.*, 2006). La relación de los hábitats continentales con el agua es extremadamente diversa desde el ecuador hasta las latitudes más elevadas, abarcando sistemas dinámicos que varían en escala: desde algunas plantas aisladas hasta las grandes y complejas comunidades de vegetación, desde la corriente de agua más pequeña en la cabecera de un arroyo hasta los grandes ríos incluyendo llanuras aluviales complejas, humedales e hidrosistemas leníticos que abarcan todos los tamaños de lagunas y lagos. Muchos de estos hábitats son soporte de comunidades y especies de gran valor, algunas de las cuales están bajo amenaza de extinción (Grootjans *et al.*, 2006; Hannah *et al.*, 2007; Ricciardi y Rasmussen, 1999; Sadler *et al.*, 2004; Wilcox y Thurow, 2006). Debido a los múltiples usos, no solo consuntivos que tiene el agua, los seres humanos alteran los procesos hidrológicos naturales y las condiciones hídricas en muchas áreas con consecuencias en los ecosistemas acuáticos que experimentan reducciones en su biodiversidad (Dudgeon *et al.*, 2006).

1.2. Definiciones ¹

La primera división del ambiente físico heterogéneo que concentra a las aguas continentales, epicontinentales o dulces se atribuye a Pearse (1939) quien distinguió los cuerpos con aguas *estancadas* de aquellos con aguas *corrientes*. En esta división, de aceptación casi unánime entre la mayor parte de los limnólogos, tenemos dos conjuntos opuestos de gran diversidad, los *ambientes lóticos* o serie de aguas corrientes y los *ambientes leníticos* (o lénticos) o serie de aguas estancadas.

¹ Las definiciones que se presentan en esta sección están todas destacadas en cursiva junto con términos que aluden a elementos y procesos que serán mencionados y/o tratados con detalle en los restantes capítulos de la tesis.

La denominación de los primeros, deriva del vocablo griego *Lotio*, que significa lavado. Se incluyen todas las formas de aguas continentales que se mueven continuamente y en una dirección definida. Genéticamente constituyen la serie manantial – torrente – arroyo – río. También se las denomina serie fluvial, aguas fluyentes, potamociclo o reociclo.

Definiendo a un sistema como “*un conjunto de partes conectadas entre sí, que forman un todo*” (Chow *et al.*, 1998), podemos definir al sistema fluvial como un conjunto de segmentos que convergen y se organizan en una red de evacuación cada vez con menos cauces. Dentro de este esquema, la existencia de un río depende tanto de un aporte como de un desagüe continuo. Cuando uno de estos factores desaparece, el río deja de existir y puede convertirse en un lago, laguna, en pantano o puede secarse. Es una de las formas en que surge el segundo tipo de hábitat acuático mencionado, el *ambiente lenítico*, del latín *Lentus*, lento, calmo. Se incluyen aquí, todas las formas de aguas continentales en las cuales su movimiento no presenta un flujo continuo y unidireccional. Esencialmente son aguas muy lentas, pero no estancadas totalmente ya que presentan siempre movimientos originados por la entrada y salida de aguas tributarias y emisarias, por diferencias de densidad, o por acción mecánica de los vientos.

Muchas masas leníticas de agua dulce son relativamente transitorias en una escala de tiempo geológica, si bien existen lagos que podríamos denominarlos “ancianos”, con más de 100.000 y hasta 1.000.000 de años, como el Baikal (Rusia), el Ohrida (Albania y Macedonia) y el Tanganica (Burundi, República Democrática del Congo, Tanzania y Zambia), también los hay más jóvenes como por ejemplo, los grandes lagos de América del Norte que tienen en su mayoría menos de 8.000 años o el Loch Lomond (Reino Unido) que tiene 11.000 años. Finalmente, y más jóvenes aún, encontramos los pequeños lagos y lagunas *transitorios*, con una vida máxima de algunos cientos de años o menos con lo cual se encuadran en la escala de tiempo de la vida humana. Tal los casos de la mayoría de las lagunas de las planicies aluviales de grandes ríos, como el Paraná.

Normalmente no existe dificultad para distinguir entre las aguas “corrientes” (lóticas) y las aguas “estancadas” (leníticas). No obstante los lagos y lagunas no son fáciles de definir con precisión, sobre todo en lo referente a profundidad, tamaño y permanencia de las aguas. Normalmente un lago es una gran superficie de agua; se lo define como un gran cuerpo de agua rodeado por tierra y se lo trata como un componente importante del paisaje terrestre. A su vez, una laguna generalmente implica un pequeño cuerpo de agua estancada, con un gran desarrollo de vegetación

acuática. Siguiendo a Ringuelet (1962), la diferencia fundamental entre un lago y una laguna no lo da la superficie, sino la profundidad. Un lago debe tener una región profunda y sin vegetación de hidrófilas arraigadas y emergentes que caracteriza a la región litoral. En cambio, un cuerpo de agua permanente o semipermanente y poco profundo como para mantener la vegetación arraigada sobre casi todo el espejo de agua, debe ser considerado una laguna (Bayly y Williams, 1973).

La definición de lago, generalmente aceptada por los limnólogos, lo considera como un cuerpo de agua con una articulación morfológica que muestra una plataforma litoral, talud y zona abisal o profunda. Además, presenta un perfil térmico definido, el cual se desarrolla solo con grandes profundidades. Ejemplos en nuestro país, son la mayoría de los lagos andinos como el Mascardi en Río Negro, que posee una superficie de 38 km² y una profundidad de 220 m (Drago, 1972).

Hutchinson (1957), desarrolló la más completa y minuciosa clasificación genética de lagos en donde señala que, si bien el origen de los cuerpos de agua lagunares y lacustres es variado y complejo, puede ser resumido en aproximadamente una docena de procesos genéticos principales. Este autor plantea que cuando un río fluye a través de gradientes más suaves en los tramos medios e inferiores, se da un conjunto de procesos destructivos a causa de la erosión y obstructivos, por el depósito de materiales, que forman gran cantidad de lagunas en las partes bajas y planas inundadas por el escurrimiento. Muchas lagunas se forman a lo largo de los grandes ríos, en las llanuras aluviales construidas por ellos mismos, denominadas "lagunas aluviales". Claros ejemplos, son las llanuras de inundación de las grandes corrientes fluviales sudamericanas como el Amazonas, Orinoco, Paraná, Magdalena y Paraguay.

Varias definiciones se han sugerido para "laguna aluvial". Hamilton *et al.* (1992), la definen "como aquel ambiente que mantiene un determinado volumen de agua durante todo el año". Sippel *et al.* (1992), en su estudio de las lagunas de la llanura aluvial del río Amazonas las refieren "como aquellas superficies de aguas abiertas sobre la llanura". Estos autores especifican que las lagunas permanentes de ese río tienden a permanecer libres de vegetación acuática en su superficie.

Drago *et al.* (2003), Paira (2003), Paira y Drago (2006, 2007), por su parte, definen a las lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio "como aquellos cuerpos de agua permanentes o temporarios que pueden presentar sus superficies libres o cubiertas parcial o totalmente con vegetación emergente". Generalmente, las lagunas grandes, aquellas con una superficie mayor a 2 - 2,5 km² son las que tienen su espejo de agua sólo parcialmente cubierto por macrófitas.

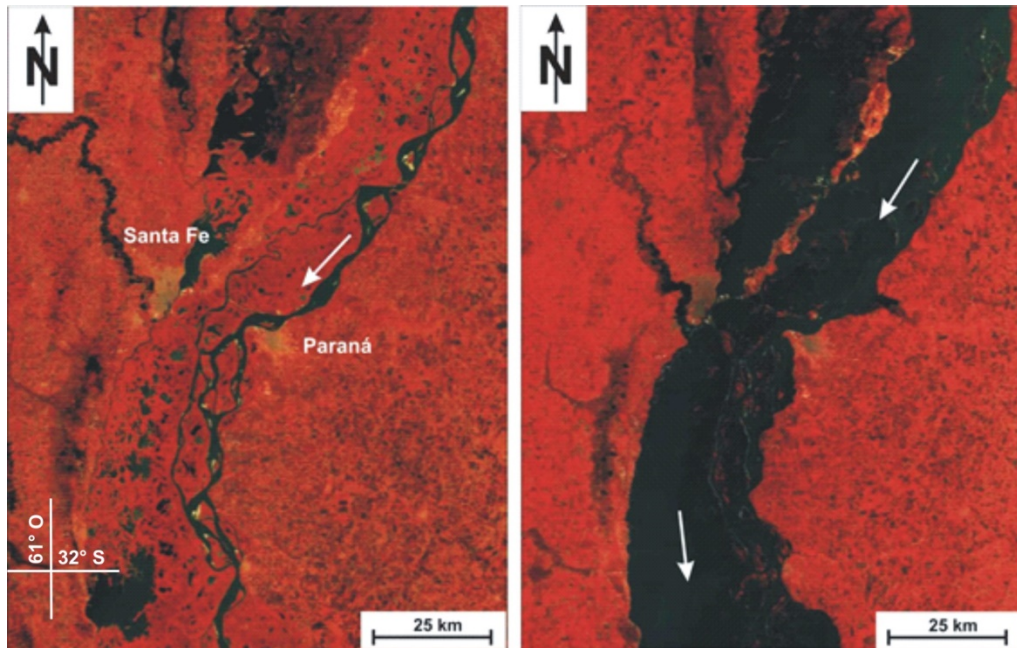
Esta característica o condición, se debe principalmente no solo a la mayor superficie lagunar, sino también a valores grandes de fetch (o alcance de ola, o mayor distancia libre de obstáculos en la dirección de los vientos dominantes) y profundidad. Estos tres parámetros morfométricos juegan un papel preponderante para impedir el cubrimiento total por parte de la vegetación acuática. La acción mecánica que ejerce el viento actuando sobre el espejo de agua crea ondas que alcanzan tamaños máximos cuando su dirección coincide con el fetch durante un periodo de tiempo con valores máximos de velocidad. Ello no permite el avance de la vegetación hacia el centro de la laguna, pero sí su acumulación sobre el litoral lagunar. También agregan estos autores, que el carácter *temporario* de algunos cuerpos de agua depende de la frecuencia, magnitud y duración de los pulsos de inundación y sequías así como su *grado de conexión* con aguas lóaticas. Estas observaciones permiten definir con más claridad a la laguna aluvial, como *“toda masa de agua permanente o temporaria que ocupa una depresión de origen fluvial en una llanura aluvial, aislada o no y sin desplazamiento aparente del agua (característica léntica), cuya superficie puede estar cubierta por vegetación acuática”*.

En el marco de estas definiciones, existen términos como *bañado* y *pantano*, además de *laguna*, que se utilizan sobre todo en limnología, ecología acuática, geomorfología fluvial y otras disciplinas relacionadas. La línea divisoria entre pantano, laguna y bañado es bastante difusa y a veces, se clasifican espacios de lagunas con vegetación en la categoría de pantanos y superficies de agua como bañados. Un pantano es la sucesión en la línea genética de una laguna senescente, en donde la vegetación ha colonizado totalmente el cuerpo de agua, no ya con vegetación acuática flotante, sino con vegetación arraigada en el fondo de la laguna que emerge con escasa o poca profundidad y un avance importante de vegetación terrestre hacia el ambiente acuático. Un bañado es una acumulación de agua en un bajo fluvial, como producto de las lluvias o inundaciones y tiende a ser de corta duración en el tiempo, es decir de carácter temporario. Depende de la mayor o menor frecuencia y volumen del aporte de agua, tanto pluvial como fluvial.

Los *sedimentos aluviales* transportados por tributarios de las lagunas pueden también colmatarse progresivamente, proceso que puede verse interrumpido, e incluso revertido (*“reseteo”*; ver Título 1.4), debido a las grandes crecientes (Figura 1.1).

Figura 1.1: Imágenes satelitales Landsat del río Paraná Medio en aguas medias del 8

de noviembre de 1981 (izquierda) y aguas altas del 1 de octubre de 1983 (derecha). La diferencia del nivel hidrométrico entre ambas es de 3,16 m según el hidrómetro del Puerto de Paraná (Entre Ríos). La flecha indica la dirección de la corriente del agua.



Se advierte que el *tipo de conexión*, en general, incide decisivamente en la mayor o menor *permanencia* de las lagunas. Las *permanentes* habitualmente se hallan en contacto directo con el río, superficial o subterráneamente. En cambio, las lagunas *temporarias* quedan sin conexión con el río durante las fases de aguas bajas y, en el caso del tramo medio del Paraná, poseen profundidades inferiores a 2 metros en aguas medias (Drago, *com. pers.*). En estos casos, al quedar aisladas, el agua puede evaporarse progresivamente y desecarse en su totalidad (Figura 1.2).

Figura 1.2: Fotografía tomada de la misma laguna en dos fechas y niveles hidrométricos distintos (10 de agosto 2010, NH = 3,16 m y 21 octubre 2010, NH = 2,86 m del Puerto de Santa Fe). Entre ambas fechas la laguna quedó aislada hasta secarse.



En definitiva, al igual que en otros sistemas fluviales estudiados, como el Amazonas y el Orinoco (Melack, 1984; Hamilton y Lewis, 1990; Hamilton *et al.*, 1992; Sippel *et al.*, 1992; Latrubesse, 2012; entre otros), las lagunas aluviales del río Paraná son el resultado de la evolución de la llanura de inundación modulada por la dinámica fluvial (Drago, 1976, 1977, 1980, 1981, 1990a y b). Su variedad morfométrica y su comportamiento hidrológico en relación al régimen del río Paraná, constituyen factores de gran importancia en la bioproducción del ecosistema acuático. En particular, la mayor heterogeneidad y disponibilidad de ambientes leníticos dentro del valle fluvial, aumenta la biodiversidad del hidrosistema.

1.3. Importancia de las lagunas aluviales para la biología acuática

Las lagunas aluviales, además de su importancia como reservorios de agua, son hábitats con estructura y funcionamiento específicos, los cuales alojan una flora y fauna de gran diversidad específica a lo largo de centenares y aún miles de kilómetros de los grandes sistemas fluviales, como es el caso del eje potámico Paraguay-Paraná (Wong *et al.*, 2007). La extensión es más elevada cuando se integran las llanuras aluviales de otros grandes tributarios (e.g. la de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Tebicuary, entre otros). Las comunidades habitan los ambientes leníticos no solo en la columna de agua, sino también en los sedimentos de fondo, en el corredor hiporreico y en la vegetación acuática flotante y arraigada e interaccionan en ellos en estrecha relación con todo el resto del sistema fluvial.

Con respecto a los organismos que viven en el sedimento de fondo del cauce principal del río Paraná Medio, Marchese *et al.* (2002); Marchese y Ezcurra de Drago (2006), Ezcurra de Drago *et al.* (2007), Amsler *et al.* (2009) y Blettler *et al.* (2012), mencionan factores claves que controlan la estructura y composición bentónica como son los pulsos de inundación, las condiciones hidráulicas de fondo, el grado de conectividad hidrológica y la calidad del agua. Por otro lado, la estructura del bentos de las lagunas puede ser muy diferente de la del cauce principal (Ezcurra de Drago *et al.*, 2007). Ésta presenta variaciones según el origen y la edad de los cuerpos de agua, su morfometría, el área del espejo de agua, la superficie de cobertura con vegetación acuática, la composición granulométrica y cantidad de materia orgánica del sedimento de fondo, la distancia de las lagunas a los cauces, la conectividad y la topografía de la llanura aluvial (Zilli, 2013, entre otros). Numerosos estudios determinando grupos funcionales y relaciones tróficas entre las especies del bentos se han desarrollado en lagunas del Paraná Medio (Saigo *et al.*, 2015, 2016). Además, especifican que las

mayores variaciones de los organismos del bentos se dan entre las lagunas de forma irregular conectadas y las lagunas aisladas de forma circular-oval (Paira y Drago, 2006, 2007). Entre ambos tipos de formas lagunares, se ha registrado un gradiente decreciente de la densidad, biomasa, riqueza de especies y diversidad de los organismos de fondo. Además, en los ciclos hidrológicos de aguas altas se produce un reseteo en las lagunas que se extiende a la sucesión ecológica (Sparks *et al.*, 1990) y, por ende, del bentos, el que posee un importante valor indicador de los distintos estadios de esa sucesión. Ese proceso primeramente se verifica en las lagunas con conexión directa o indirecta y luego en las aisladas que son reseteadas solamente por grandes eventos como El Niño (ENOS, El Niño Oscilación del Sur o ENSO, por sus siglas en inglés). También, resaltan que se observan ensambles de especies similares del bentos en lagunas conectadas con el río y los depósitos de arenas (bancos) de los cauces secundarios. Con respecto a las lagunas aisladas (no conectadas con el cauce principal o cauces secundarios) o en las “bahías” de las lagunas de forma irregular, con un alto contenido de materia orgánica en los sedimentos del fondo, se han encontrado etapas más avanzadas de la sucesión ecológica. Es interesante destacar que la riqueza específica y la conectancia (medida del número de conexiones en una red trófica; Osborne, 2000) de los macroinvertebrados y los peces en grandes ríos con llanura aluvial, se incrementa en la dimensión lateral, es decir, desde el cauce principal hacia las lagunas con diferentes grados de conectividad, lo que también puede ser relacionado a cambios laterales en la productividad (Ezcurra de Drago *et al.*, 2007).

El fitoplancton, es otra de las comunidades que viven en la columna de agua y cuya riqueza de especies está relacionada con la conectividad de los ambientes respecto al cauce principal. El número de especies aumenta desde el río hacia el interior de la planicie aluvial, donde coexisten ambientes lóticos y leníticos. García de Emiliani (1997), Zalocar de Domitrovic (1999, 2003 y 2005) y Zalocar de Domitrovic *et al.* (2007) afirman que el impacto de las inundaciones en el fitoplancton puede ser muy variable, debido a la interacción entre las aguas del río y las condiciones ambientales de las lagunas, como la posición topográfica, la distancia al cauce principal, el tipo de conexión (directa o indirecta), la morfometría de las lagunas, el tiempo de residencia del agua y el desarrollo de la cobertura y biomasa de macrófitas.

Con relación al zooplancton, las lagunas tienen una densidad y riqueza comparativamente más alta que en el cauce principal y cauces secundarios de la llanura aluvial del Paraná Medio (José de Paggi, 1980, 1993, 2004; Paggi 1980; José de Paggi y Paggi, 2007). La abundancia de especies planctónicas tienen directa relación con aquellas lagunas de poca profundidad, vegetación acuática densa,

variedad de microhábitats y mayor tiempo de residencia del agua. Se ha verificado un gradiente desde el cauce principal a las lagunas de la llanura aluvial con controles físicos y biológicos de influencia relativa, observado también para las comunidades en otros grandes ríos.

En el caso de los peces de agua dulce, que representan un medio de subsistencia y seguridad alimentaria (aporte a la dieta), más que otras especies, cabe recordar que la mayoría de los grandes ríos de América del Sur y sus tributarios, son corredores ecológicos que abarcan miles de kilómetros de longitud conformados por los cauces principales y la compleja hidrografía lótico-lenítica desarrollada en sus llanuras aluviales (Drago *et al.*, 2003; Wantzen *et al.*, 2005; Paira y Drago, 2006, 2007; Drago *et al.*, 2008a, b). En paisajes de este tipo, Welcome (1979) estableció, que las lagunas cumplen una función esencial puesto que de ellas depende la riqueza de las pesquerías de los sistemas fluviales ya que son utilizadas por los peces como áreas para desove, alimentación, protección refugio y descanso. Concretamente para el río Paraná, las grandes especies migradoras, utilizan estas lagunas para esos fines durante sus desplazamientos a través del cauce principal, de los cauces secundarios de la llanura aluvial y de los tributarios (Quirós y Cuch, 1989; Agostinho *et al.*, 2003; Scarabotti *et al.*, 2011; Espínola *et al.*, 2016). En el Paraná Medio, Oliveros (1980), Beltzer (1991), Lajmanovich (2000), Peltzer y Lajmanovich (2004), Sottini y Rossi (2008), informan acerca de la predación por parte de los niveles tróficos superiores (peces, anfibios, aves, mamíferos) sobre los invertebrados bentónicos en lagunas, cauces secundarios y humedales marginales. Aunque la representación de las categorías tróficas de los peces en la estructura de los distintos hábitats, puede cambiar con las diferentes fases hidrológicas, en las lagunas del valle aluvial se destacan por su representación las especies: detritívoras, omnívoras, herbívoras, piscívoras e insectívoras (Bonetto, 1986; Oliveros, 1980; del Barco, 1990; Bechara *et al.*, 1997, 2000; Rabuffetti *et al.*, 2017). Cordiviola de Yuan *et al.* (1984), investigaron las migraciones transversales de peces entre el cauce principal y las lagunas de su planicie aluvial, explicando que las migraciones en base a parámetros físicos, como la temperatura y los estados hidrométricos del sistema, son condicionantes en las interconexiones lenítico-lóticas. Rossi *et al.* (2007) y Abrial *et al.* (2014), remarcan la importancia clave de los hábitats de la planicie aluvial (limitados fundamentalmente a sus ambientes leníticos) y sus cambios en virtud de los pulsos de inundación, en la alimentación, reproducción y refugio de las distintas especies. Advierten sin embargo, que a pesar de los avances logrados subsisten aspectos de la biología y la ecología de la ictiofauna, que deben ser investigados con mayor profundidad.

Las lagunas aluviales y los ambientes lóticos son productores o generadores de plantas acuáticas flotantes libres y arraigadas, que se renuevan desde la fase inicial recurrentemente después de cada pulso de inundación con procesos muy dinámicos y más cortos que los terrestres (Sabattini y Lallana, 2007). Esa vegetación está compuesta por distintas especies, como por ejemplo *Eichhornia crassipes* (“camalote”), con alto índice de reproducción, *Eichhornia azurea*, ambas asociadas generalmente con *Paspalum repens*, *Panicum elephantipes* (“canutillo”), *Echinochloa polystachya*, *Ludwigia peploides*, *Nymphoides indica*, también *Pistia stratiotes* (“repollito de agua”), formando verdaderas “carpetas” que cubren parcial o totalmente las lagunas. Cabe mencionar aquí que cerca del 25% de las lagunas tienen hasta un 5% de su superficie cubierta y, según lo ya mencionado, en aquellas con un área menor a 2 km² la variación de cobertura vegetal puede variar entre cero y 100% (Paira, 2003; Paira y Drago, 2006 y 2007). A grandes rasgos, las macrófitas son el sustento de comunidades de invertebrados (pleuston; Ringuelet, 1962; Margalef, 1983) y vertebrados (e.g. peces), además de concentrar más del 95% de la producción de materia orgánica de los grandes ríos. Constituyen el principal subsistema biótico en la forma y arquitectura del hábitat acuático. Actúan captando nutrientes, concentrando materia orgánica y sedimentos y produciendo interferencias en el escurrimiento del agua (drenaje fluvial) y alteraciones en la geomorfología de la llanura aluvial (Neiff, 2001; Poi de Neiff y Neiff, 2006; Marchetti *et al.*, 2013a).

Como se advierte en el breve resumen anterior, los distintos ensambles de especies con relación a las lagunas aluviales constituyen parte de un mosaico fluvial heterogéneo, complejo y variable en espacio y tiempo. Esta variabilidad es determinante en la distribución de los organismos acuáticos y en sus interacciones y adaptaciones (Wiens, 1986). Los procesos que conducen a esa variabilidad se tratan en el título siguiente.

1.4. Las lagunas aluviales en el contexto de los procesos de modelado de la llanura aluvial

Un marco de estudio de los hábitats fluviales debe comprender el concepto basal por el cual los sistemas hídricos que los incluyen, están organizados en el espacio y a su vez cambian con el tiempo. En efecto, entre regiones fisiográficas o entre los ríos que fluyen dentro de una región, diferentes procesos sedimentológicos, hidrológicos y geomorfológicos controlan la forma y el desarrollo de sus cuencas y cauces.

Sobre este particular, Amsler (2006), ofrece un ejemplo en relación con el transporte de los sedimentos finos o carga de lavado (limo y arcilla). Este autor demostró que en la cuenca del río Paraná la construcción de numerosos embalses, varios de ellos de gran magnitud, ha afectado marcadamente la transferencia de sedimentos hacia aguas abajo, con menores transportes y disminuciones en la tasa de sedimentación para ciertos años en la planicie aluvial del tramo medio que puede llevar incluso a su degradación. El balance para distintos períodos, considerando la entrada (o “input”) de sedimento en la sección transversal del río Paraná a la latitud de la ciudad de Corrientes (Corrientes) y la salida (u “output”) a la altura de la ciudad de Paraná (Entre Ríos), aproximadamente 600 km aguas abajo, reveló tasas de sedimentación promedios anuales en la planicie de $15,18 \times 10^6$ toneladas para el período 1968-74, de $60,70 \times 10^6$ toneladas para 1979-82 y de $17,70 \times 10^6$ toneladas entre 1993-2004. Uno de los resultados significativos de la investigación se relacionó con los efectos de la gran creciente de 1997-98 que originó una de degradación de $-9,80 \times 10^6$ toneladas de la planicie debido a la erosión del sedimento fino de su superficie. Si consideramos que en distintas fajas de la llanura aluvial la cantidad de lagunas, sus formas, superficies y cotas son variables (ver Capítulos 5 y 6), sin duda las sedimentaciones o erosiones de sedimento fino mencionadas, van a afectar de manera diferente no solo a los ambientes leníticos, sino también a las distintas unidades geomorfológicas de la planicie.

La retención del sedimento fino transportado a la planicie en las raíces de la vegetación acuática emergente en ambientes lóticos y lénticos, constituye otro proceso aún no cuantificado, que puede afectar a estos hábitats y a la misma geomorfología de la planicie de modos aún no entendidos del todo (Clark *et al.* 2004; Marchetti *et al.*, 2013a).

En ciclos hidrológicos de aguas altas o de crecientes extraordinarias (asociadas con el ENOS), la planicie aluvial del Paraná (como otros ejes potámicos de Sudamérica), se inunda completamente como sucedió durante la creciente de 1982-83 (Figura 1.1), la de mayor duración registrada. A lo largo de este evento se produjo una lotificación completa de la llanura aluvial que estuvo en una prolongada facie de alta energía, desapareciendo la totalidad de los ambientes leníticos. Muchos de ellos sufrieron un “reseteo” (del inglés “reset”; Sparks *et al.*, 1990), o proceso de rejuvenecimiento por el cual se pueden producir cambios drásticos en la morfología de sus cubetas y estructura biótica (Paira, 2003; Paira y Drago, 2006, 2007).

En los grandes eventos hidrológicos, similares a los mencionados, existen aspectos hidráulicos como la rugosidad superficial de la planicie que implícitamente

intervienen en los procesos comentados. En efecto, su valor condiciona la velocidad del agua y por lo tanto la posibilidad de sedimentación o erosión del sedimento transportado sobre la llanura. En general el factor de rugosidad de Manning, n , de las planicies aluviales es de 4 a 5 veces mayor que el del cauce principal o circundantes (Chow, 1959), debido a la altura (desde pocos decímetros hasta varios metros), densidad, distribución y tipo de vegetación de la superficie de la llanura. Esta cubierta vegetal y la rugosidad pueden interaccionar a través de otro proceso verificado en la creciente citada de 1982-83 en el río Paraná. Durante este prolongado evento el factor de rugosidad, n , de la planicie en el tramo medio se redujo entre un 20% y 70% (dependiendo del tramo estudiado; Zucarelli y Ceirano, 2002), lo cual sería atribuible a la descomposición de la vegetación de la llanura transcurrido cierto tiempo de la creciente. Ello es compatible con la fuerte reducción del oxígeno disuelto y el pH en las aguas del sistema durante esos momentos (Hammerly, 2011).

Los trabajos mencionados y muchos otros de carácter específico, si bien muy valiosos ya que dan cuenta de los principales procesos geofísicos que pueden operar en una llanura aluvial, aún son escasos como para comprender con mayor claridad las relaciones entre los múltiples factores que inciden en la evolución de las lagunas aluviales. De hecho, la morfología de estos cuerpos de agua y su dinámica, depende no solo del régimen fluvial, con la hidrología y el sedimento como factores determinantes, sino también del patrón geomorfológico de los ríos, de su paleo-hidrología y sus formas, muchas veces heredadas. Dentro de éstas la arquitectura sedimentaria de la planicie aluvial juega un rol preponderante. A continuación se discuten un número de antecedentes selectos acerca de estas cuestiones, en relación con las lagunas aluviales y de los interrogantes que aún quedarían por dilucidar.

1.5. Antecedentes en la temática de la tesis

Cuando el objeto de análisis lo constituyen los grandes ríos con llanura aluvial de escala continental y subcontinental (como los mega-ríos con caudales medios anuales mayores a $17.000 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$; Latrubesse, 2008), los estudios son muy escasos y dispersos. Uno de los factores claves que ha influido sobre la gran diferencia en el conocimiento entre este tipo de corrientes fluviales y los pequeños ríos han sido, de hecho, las distintas metodologías que se requieren en lo concerniente a la logística e instrumental a utilizar en uno y otro caso.

En Paoli y Schreider (Eds.) (2000) e Iriondo *et al.* (Eds.) (2007), se sintetizan las investigaciones llevadas a cabo en el tramo medio del río Paraná en aspectos

geomorfológicos, hidrológicos, sedimentológicos e hidráulicos en el primer caso, y los referentes a la limnología física y química y a las diversas comunidades biológicas en el cauce principal y en los ambientes lóticos y leníticos de su llanura aluvial, en el segundo caso.

De estas fuentes, se desprende que se han llevado a cabo importantes avances en el estudio de la llanura del Paraná pero desde un enfoque marcadamente limnológico, esto es, dirigido a la ecología de sus ambientes acuáticos, sin un desarrollo del conocimiento, de similar extensión y profundidad, en cuanto a la dinámica geomorfológica, hidrológica y sedimentológica, actual y anterior, que intervinieron en la formación de esos hábitats. Los estudios sobre los procesos físicos que se ajustan al marco arquitectónico de las grandes planicies aluviales siguen la norma general, esto es, son muy escasos, especialmente aquellos que intentan relacionar esos procesos con aspectos bióticos.

Un listado de las contribuciones más importantes, relacionadas con la temática y en el río Amazonas, podría comenzar con la de Melack (1984), que ha estudiado la forma y la longitud de 8.500 lagunas, incluyendo una clasificación morfológica de las mismas. Para las mediciones morfométricas, este autor utilizó imágenes radar con una resolución de 15 metros y a una escala 1:250.000. Al mismo tiempo, realizó un análisis sobre la relación entre la longitud de las cubetas y la estructura térmica y características químicas. En el mismo año, Junk (1984) señaló la presencia de diversos tipos de lagunas de inundación en el Amazonas basado en la tipología propuesta por Hutchinson (1957).

Payne (1986), referenció el comportamiento térmico y del oxígeno disuelto de algunas lagunas del Amazonas basados en los estudios realizados por Schmidt (1973a, b) y Tundisi *et al.* (1984), además de otros parámetros físicos-químicos y biológicos relacionados con la ecología de cuerpos leníticos y lóticos tropicales.

Sippel *et al.* (1992) y Hamilton *et al.* (1992), realizaron mediciones del área de la llanura de inundación y características morfométricas de sus lagunas utilizando imágenes radar. Sippel *et al.* (1992) demostraron que aunque sólo el 10 % de las lagunas son mayores a 2 km², estos cuerpos de agua constituyen más de la mitad del área total de la llanura aluvial.

También en la Amazonia Peruana, Puhakka *et al.* (1992), utilizando imágenes satelitarias, imágenes radar y fotografías aéreas, con observaciones *in situ*, estudiaron las variaciones en la evolución de las geformas fluviales en meandros, pertenecientes a cauces tributarios del río Amazonas.

Utilizando distintos tipos de sensores remotos en distintas plataformas, Melack *et al.* (1994), relevaron áreas y determinaron formas de lagunas, concentraciones de sedimentos suspendidos, cobertura de macrófitas, bosques inundables, etc., en la cuenca de drenaje del Amazonas. Realizando además, una comparación entre las distintas regiones de la cuenca.

Hess *et al.* (1995), empleando imágenes radar, han delineado el área inundada y la vegetación a lo largo de la llanura de inundación del río Amazonas, clasificando el paisaje aluvial en cinco categorías: agua, pasturas, macrófitas acuáticas, bosque no inundado y bosque inundado.

Mertes *et al.* (1996), estudiaron la geomorfología del cauce y de la llanura de inundación del eje fluvial Solimoes-Amazonas, realizando mediciones del cauce, áreas, perímetros, radios de curvaturas, etc. utilizando imágenes radar con resolución de 16 metros a escala 1:250.000.

Tomando como base el estudio de Melack (1984), Irion *et al.* (1997), describieron la formación de la Várzea (bosques ribereños inundables por ríos de aguas con sedimentos en suspensión, denominados ríos de aguas blancas) e Igapó (bosques ribereños inundables por ríos de aguas con bajísimas concentraciones de sedimentos en suspensión, llamados de aguas negras) y ciertas características geomorfológicas de las lagunas en la llanura aluvial del río Amazonas Central.

Latrubesse y Franzinelli (2002), basándose en trabajos de campo, imágenes satelitarias con sensores radar y MSS, llevaron a cabo un análisis geomorfológico de la llanura aluvial de un tramo de 300 km del río Amazonas Medio (ríos Negro, Solimoes y Purus). Diez años después, Latrubesse (2012), realizó para el mismo río una clasificación genética de las lagunas en función de los procesos fluviales, resultando de la misma, las lagunas relacionadas con el desplazamiento lateral de cauces y lagunas generadas por procesos de acreción vertical en el cauce principal y por las inundaciones en la planicie de inundación.

Empleando fotografías aéreas y cartas a escalas 1:25.000 de la llanura aluvial del Bajo Orinoco, Sánchez y Vásquez (1986) y Vásquez (1988), estudiaron las macrófitas en lagunas y realizaron mediciones morfométricas en 349 lagunas en un tramo de 150 km del río. También Hamilton y Lewis (1990), analizaron la relación entre las características químicas y ecológicas y su relación con la morfología de 28 lagunas de la llanura aluvial del Orinoco.

En el Río Paraguay, Drago (1975, 1990a), realizó primero un mapa geomorfológico de la llanura aluvial del río Paraguay Inferior y luego del eje fluvial

Paraguay-Paraná, clasificando las unidades geomorfológicas que la componen, describiendo además los diferentes tipos de lagunas existentes en cada unidad geomorfológica y comparándolas entre sí. Drago *et al.* (2008a y b), estudiaron la conectividad entre el cauce principal y la llanura aluvial del río Paraguay Inferior, con el propósito principal del conocimiento de los factores primarios, los cuales conforman la estructura física de los hábitats fluviales, abarcando también los ambientes leníticos.

En el Río Paraná, Iriondo y Drago (1972) describieron dos unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Paraná Medio, seleccionando para la caracterización ambientes como las lagunas, los cauces temporarios, los bañados y pantanos.

Drago (1976), presentó una nueva clasificación más detallada que las realizadas por Zumbege (1952), Hutchinson (1957) y Drago (1973) de los ambientes leníticos de las llanuras aluviales basada en la génesis y evolución de las lagunas, obteniendo ejemplos de las llanuras aluviales del eje potámico Paraguay-Paraná, desde Asunción (Paraguay) hasta el Río de La Plata. Años más tarde, Drago (1980) estudió también las fases de inundación según los distintos grados de conexión de dos lagunas en función del ciclo hidrológico del río Paraná en su tramo medio, estableciendo con detalle los grados de conexión y las fases hidrológicas en ambientes leníticos (Drago, 1981). También, Drago (1989), destacó la relación entre el origen y evolución de algunas lagunas aluviales y su comportamiento hidrológico en relación al régimen del Paraná, estableciendo que la interacción lítica-lenítica es el primer factor en la evolución del hidrosistema del Paraná Medio y estableció una clasificación principal de siete tipos de lagunas aluviales (Drago, 1990b).

Con respecto a la vegetación acuática, Lallana (1980) calculó la biomasa y estableció la dinámica de la población de *Eichhornia crassipes* ("camalote") en una laguna del río Paraná Medio. Mediante relevamientos de campo y observaciones aéreas, Bayo *et al.* (1981), evaluaron cuantitativamente la vegetación acuática en sectores del valle aluvial del río Paraná Medio, estimando la biomasa y la cobertura de plantas acuáticas en ambientes leníticos. También Neiff *et al.* (2001), estudiaron la densidad de hojas, longitud máxima de las hojas y distribución de frecuencias de *Eichhornia crassipes* en tres lagunas (dos con distinto grado de conexión y una artificial aislada) aguas abajo de la ciudad de Corrientes a lo largo de un ciclo hidrológico. Sabbatini y Lallana (2007), estudiaron el rol de las macrófitas (*Eichhornia crassipes*, *Paspalum repens*, etc.) y su productividad en distintos ambientes acuáticos del Paraná.

Drago y Paira (1987), calcularon el balance térmico de una laguna aluvial del río Paraná Medio estableciendo ecuaciones para cálculos en base a la temperatura del aire.

Iriondo (1989), estableció tres áreas genéticamente diferentes, los esteros del Iberá, la llanura aluvial actual y el delta del Paraná, señalando que la cobertura de lagunas y pantanos se ve incrementada por graduales subsidencias de los bloques tectónicos.

Marchese *et al.* (2002), establecieron que cerca del 30% de la llanura aluvial del Paraná está cubierta por lagunas temporarias y permanentes, variando el rango de formas de circulares a dendríticas, con longitudes de menos de 100 m a poco más de 10 km, poco profundas que raramente exceden los 5 m de profundidad y presentan un fondo topográficamente regular. En este trabajo se describen los sedimentos de los fondos lagunares compuestos principalmente por limos y arcillas, y se adopta una clasificación de 7 tipos de lagunas y las diferentes clases de conexiones.

Drago *et al.* (2003), realizaron la primera descripción y clasificación de los principales hábitats lóticos y leníticos del ecosistema del Paraná Medio. Analizaron además, la relación de la red fluvio-lagunar con el pulso de inundación, la evolución de las lagunas de acuerdo a la dinámica del río, examinando los cambios hidromorfológicos de los hábitats acuáticos y describiendo las comunidades de peces y bentos asociadas a cada tipo de hábitat.

Mangini *et al.* (2003), demostraron una importante sedimentación masiva e intensa en una laguna debido a la floculación de las fracciones de partículas de tamaños más finos que 15 μm , pertenecientes a la carga de lavado del río Paraná Medio. Este proceso se produjo con velocidades menores a 0,15-0,20 m/s, alcanzando la sedimentación total promedio un valor de 41,7%.

Paira y Drago (2006, 2007), trabajaron sobre la relación existente entre algunos parámetros morfométricos, el origen, la morfología, la conectividad hidrológica y la evolución/cobertura de vegetación acuática en lagunas del río Paraná Medio.

En función de todos estos antecedentes, caben muchos interrogantes, partiendo de las formas o morfología de las lagunas, saber si en el tramo medio del río Paraná, de Norte a Sur, desde Corrientes hasta Diamante, ¿existen diferencias en las formas de las lagunas?; para cada unidad geomorfológica, ¿le corresponde una morfología predominante de laguna?, o mejor dicho, ¿existe una correspondencia entre la morfología lagunar y la unidad geomorfológica?, y si existiese esta correspondencia, ¿cuál es la explicación de su relación?.

Con respecto a la evolución de las lagunas, ¿cuáles son los procesos claves o de mayor incidencia?; ¿cuáles son las causas de estos procesos evolutivos y las consecuencias?; ¿de qué manera han evolucionado las lagunas?; ¿existe una “secuencia morfológica natural” de evolución?; ¿Cuánto tiempo persisten las formas?; ¿existen factores “internos y externos” que inciden en la evolución?; si existen, ¿Cuáles son estos factores?; las variaciones del nivel hidrométrico, la morfología, la posición espacial, la cota, la profundidad, la orientación, el tipo y grado de conexión, la cobertura de vegetación acuática, la distribución de vegetación arbórea y arbustiva en el perímetro lagunar ¿son factores a tener en cuenta en la evolución?; ¿se pueden establecer jerarquías en estos factores?; las lagunas de igual forma, ¿evolucionan de la misma manera?; ¿se pueden establecer edades de lagunas de acuerdo a su estado evolutivo?; ¿cuál es la dinámica evolutiva de las lagunas?; las lagunas de igual forma, ¿tienen la misma dinámica evolutiva?; en su dinámica evolutiva, ¿todas llegan al estado senescente o de pantano?; y si llegan, ¿en que periodo de tiempo?; ¿qué papel desempeñan las lagunas en la construcción y evolución de la llanura aluvial del río Paraná Medio?; la diversidad de formas, ¿genera una mayor biodiversidad?, y por último, ¿para qué sirve estudiar la evolución de las lagunas?.

Si bien los interrogantes son abundantes, se pretende responder la mayoría de ellos a través de esta Tesis Doctoral, planteando los objetivos e hipótesis a continuación.

1.6. Objetivos de la investigación - Hipótesis

Se advierte de lo expuesto en 1.5, que el conocimiento del funcionamiento hidro-físico de las grandes llanuras de inundación y la historia evolutiva reciente de las lagunas aluviales, ha merecido poca atención en proyectos y programas de investigación de envergadura. En efecto, la mayoría de los investigadores que estudian planicies aluviales están vinculados a la ecología de sus ambientes acuáticos en forma puntual y con planteos de paradigmas, si bien provenientes de la “Ecohidrología”, aún con un insuficiente abordaje más integral y profundo del funcionamiento físico del sistema fluvial, es decir del envase o “container” de la biota.

El área de las geociencias y en especial la geomorfología de nuestros sistemas fluviales, podría contribuir a la ecología acuática y conducir a nuevos modelos conceptuales de los procesos fluviales. Ello podría revelar (o contextualizar) la insuficiencia (o alcances) de algunos modelos y conceptos creados para los sistemas fluviales del hemisferio norte que se han transformado en paradigmas de aplicación

casi universal y que a menudo se aplican sin una comprensión clara del funcionamiento de los grandes ríos.

El objetivo general de esta Tesis es conocer la evolución de las lagunas aluviales del río Paraná Medio y los objetivos específicos que se plantean son los siguientes:

- 1) Identificar, clasificar y analizar la morfología y morfometría de las lagunas de acuerdo a las unidades geomorfológicas.
- 2) Determinar los factores claves incidentes en la forma y evolución de las lagunas.
- 3) Generar modelos cartográficos de los procesos evolutivos.
- 4) Obtener información para su utilización en la planificación del manejo de llanuras aluviales de grandes ríos.

Las hipótesis en que se basa este trabajo de investigación son las siguientes:

H1) La morfología de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio evoluciona en función de factores que combinan procesos hidrológicos, hidráulicos y sedimentológicos en una dinámica que incluye a la producción primaria como una componente esencial.

H2) Las unidades geomorfológicas de la planicie aluvial del Río Paraná Medio, condicionan las formas de las lagunas que contienen, las cuales reflejan los procesos geológicos y geomorfológicos fluviales que originaron esas unidades.

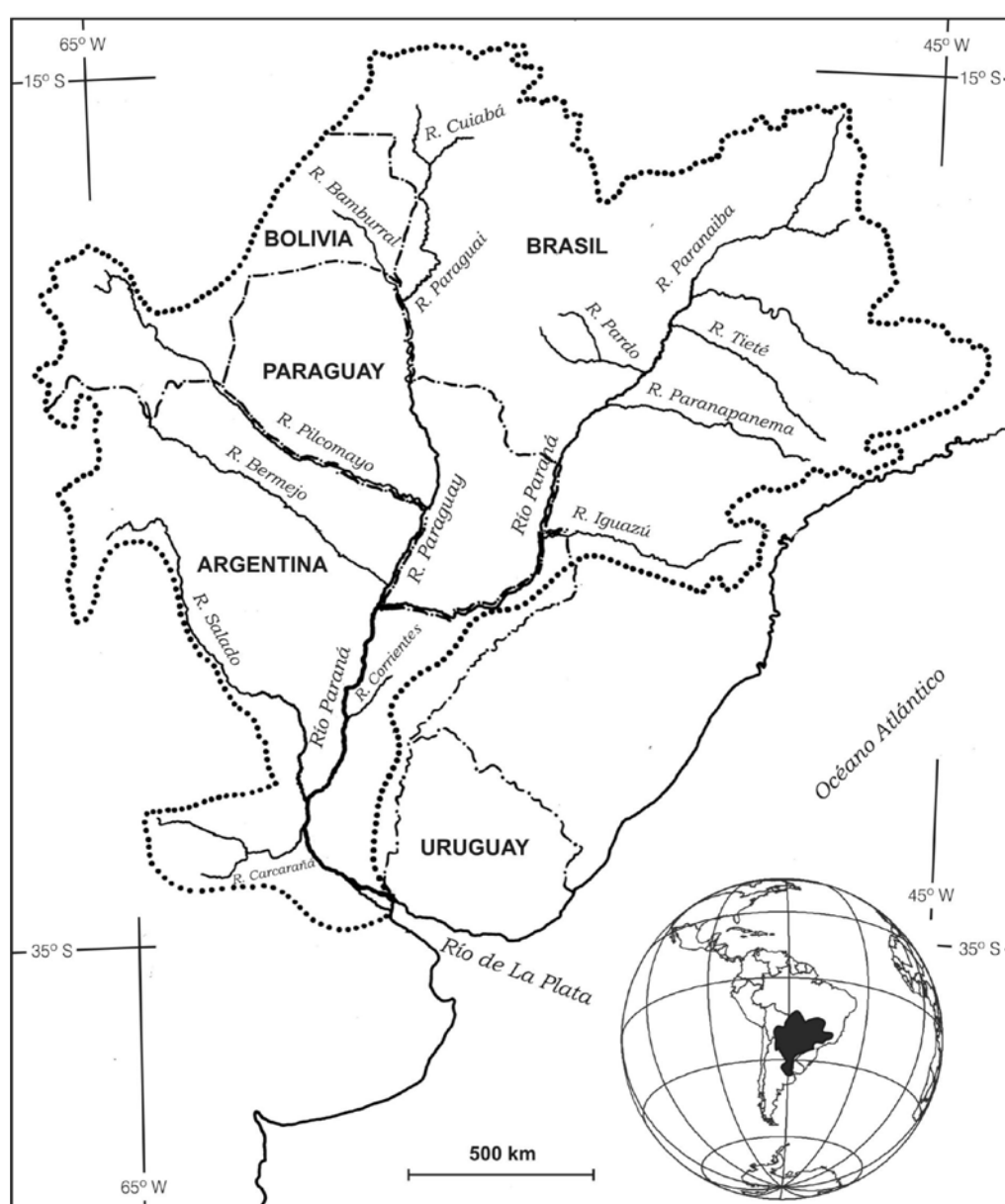
Por todo lo expuesto, se demuestra la necesidad de profundizar la investigación sobre la morfología, morfometría y evolución de las lagunas aluviales del río Paraná Medio, no sólo para evaluar la importancia que reviste la llanura aluvial del río Paraná en la geografía argentina y particularmente en la Región Mesopotámica, sino también como información fundamental para el conocimiento del funcionamiento y la diversidad biológica de los cuerpos de agua. Se debe destacar, que existen escasos estudios sobre la evolución de estos ambientes, en relación a su importancia para la ecología de estos ambientes acuáticos. Por lo tanto, los resultados obtenidos constituirán el primer aporte para su cuantificación a lo largo de todo el valle aluvial, necesario para las investigaciones sobre la integridad ecológica de estos hidrosistemas fluviales cubriendo además, un vacío muy grande en la información básica existente sobre los grandes ríos.

Capítulo 2: Descripción del área de estudio

2.1. El Río Paraná Medio y su llanura aluvial

El Río Paraná se halla incluido dentro de la categoría de los mega-ríos (Latrubesse, 2008), con un área de drenaje de $2,6 \times 10^6 \text{ km}^2$, la cual incluye cuatro países en su cuenca de aporte, Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina (Figura 2.1).

Figura 2.1: Cuenca de drenaje del Río Paraná. Fuente: Iriondo y Paira, 2007.



Dada la importancia y los intereses que involucra este gran río aluvial, existen una gran cantidad de trabajos que describen sus características en toda su longitud,

como así también, ciertos rasgos típicos del río en el tramo investigado. Por este motivo solo se describirán caracteres específicos más relevantes y de importancia para la presente Tesis. Para más información, se pueden consultar los trabajos de Amsler y Drago (2009), Iriondo *et al.* (2007), Amsler *et al.* (2005), Popolizio (2003), Paoli y Schreider (2000), Toniolo (1999), Ramonell *et al.* (2000), Amsler y Prendes (2000), Drago y Amsler (1988, 1998), Ramonell *et al.* (2002), DHGA (1983), Drago (1973, 1977, 1990), FICH (1997a, b), Iriondo (1972, 1979, 1988), LH (Laboratorio de Hidráulica, 1974), Soldano (1947), entre otros.

2.1.1. Características generales del Río Paraná

El Río Paraná ha sido dividido en tres tramos hidrográficos: Superior, Medio e Inferior.

El Alto Paraná o Paraná Superior, se extiende entre los 20° S y 51° O y los 27° 30' S y 58° O (confluencia con el río Paraguay). Este sector tiene una extensión de 1.550 km de los cuales 700 km corresponden a Brasil, 500 km a la frontera brasileño-paraguaya y 350 km a la frontera argentina-paraguaya (Toniolo, 1999). La cuenca superior posee características propias de una región montañosa, lo que permite que sea considerada como cuenca activa o de aporte inmediato en casi su totalidad (Soldano, 1947). Su lecho está compuesto por rocas y arenas como consecuencia de los estratos básicos del área que drena, compuestos por basaltos y areniscas silíceas mesozoicas.

Aguas abajo de Posadas (Misiones), donde se encuentra la represa hidroeléctrica Yaciretá, que entró en operación en 1992 (dato antrópico muy relevante), el río cambia sus características geomorfológicas. Comienza allí un área de transición de 300 km de longitud hasta la desembocadura del río Paraguay, donde el Alto Paraná se transforma progresivamente en el tramo medio del Paraná. En este tramo de transición, el fondo es predominantemente arenoso, con bancos e islas de cauce, lo que originan un cauce con diseño entrelazado de thalweg sinuoso (Toniolo, 1999). Aguas abajo de ese punto y hasta la confluencia con el río Paraguay, el cauce va atravesando una formación sedimentaria (Formación Ituzaingó), compuesta por arena cuarzosa y arcilla laterítica, divagando el cauce entre varios brazos de escasa profundidad. El ancho del cauce principal varía entre 1.500 y 5.000 m (Toniolo, 1999).

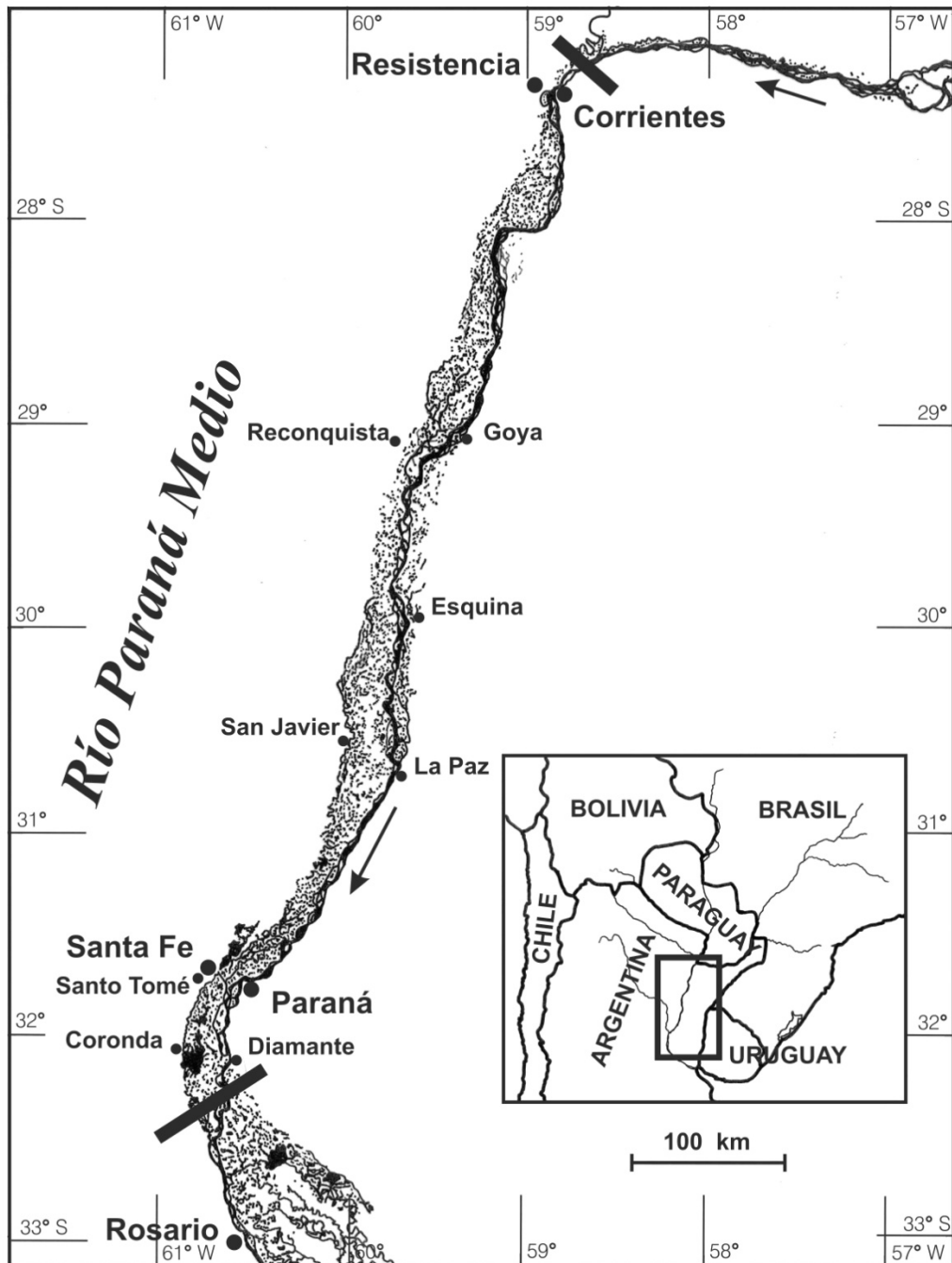
El tramo medio del río se desarrolla íntegramente en territorio argentino, desde la confluencia con el río Paraguay hasta la ciudad de Diamante (Entre Ríos) aproximadamente, a lo largo de 707 km y con rumbo predominante N-S. Más adelante,

se realiza una descripción detallada de la geomorfología de la llanura aluvial y del río Paraná en el tramo medio, objeto de esta tesis (Figura 2.2).

A lo largo de su tramo final, aguas abajo de Diamante, el río Paraná ha construido un delta de 345 km de longitud, con un área de 15.000 km². Geomorfológicamente fue dividido en dos regiones, el delta superior e inferior. El delta superior, también conocido como Río Paraná Inferior, finaliza en la bifurcación de los dos distributarios principales: el Paraná Guazú y el Paraná de Las Palmas. El delta inferior, que se extiende entre la bifurcación anterior y el estuario del Plata, presenta una remodelación constante del área por parte del río, obliterando cauces, consolidando islas y creando otras sobre el borde que enfrenta al estuario. Se han registrado tasas promedio de avance de este borde, debido a esa intensa dinámica fluvial, del orden de los 70 m por año (Soldano, 1947) y 60 m por año (Toniolo, 1999).

El tramo medio del Río Paraná se ubica íntegramente en la Llanura Chaco-Pampeana, una de las principales regiones, tanto desde el punto de vista hidrológico general, como geográfico y económico. Forma la mayor parte de la gran Depresión Llanos-Chaco-Pampa, una cuenca geológica continental ubicada entre el cinturón móvil de la Cordillera de los Andes y las regiones estables del Este de Sudamérica. La Depresión alcanza desde los 13° S hasta los 40° S. Está geológicamente dividida en sectores menores, Pampa y Chaco, sobre la base de criterios ambientales y de vegetación que, hasta la fecha, se mantienen sólidos. Los sistemas sedimentarios más persistentes en la llanura consisten en una sucesión de abanicos aluviales muy grandes y poco inclinados, originados en las montañas occidentales (Iriondo, 1984). Durante los intervalos áridos, se depositaron campos de arena y mantos de loess en la Pampa y el Chaco, mientras en las montañas ocurrían glaciaciones (Iriondo, 1999). También existen depósitos de cenizas volcánicas en toda la llanura y sedimentos fluviales (limos y arenas finas) en el Noreste de la Pampa y en el Este del Chaco, transportados a la región por los grandes ríos Paraná, Uruguay y Paraguay (Iriondo, 1993). Además, el Paraná Medio a lo largo de toda su existencia, formó un depósito de arena, entre 2 y 4 millones de años atrás, denominado Formación Ituzaingó (o también Arenas Puelches). Esta, se halla compuesta por arena cuarzosa fina y muy fina, de color ocre y blanco, interestratificada con limo gris y verdoso, con espesores que oscilan entre los 10 y 150 metros. Está distribuida sobre la margen derecha del eje fluvial Paraguay-Paraná, desde Asunción (Paraguay) hasta la depresión del Río Salado de la Provincia de Buenos Aires, cubriendo una superficie de 120.000 km² (Iriondo, 2007).

Figura 2.2: Situación del Río Paraná en su tramo medio (la flecha indica la dirección de la corriente de agua). Fuente: Iriondo, 2007.



2.1.2. Características climáticas

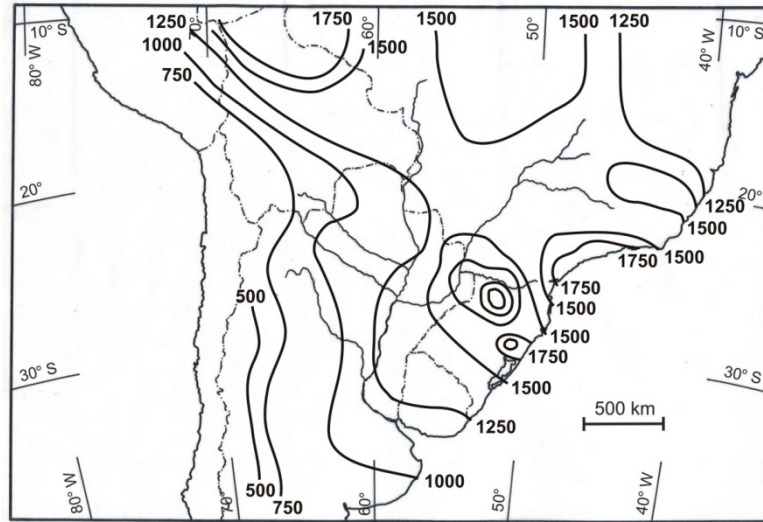
El patrón climático de América del Sur es controlado por la circulación general de la atmósfera, en donde existe una gran masa continental entre dos grandes superficies oceánicas. Un exceso de radiación solar se produce desde el Ecuador hasta los 40-42° de latitud Sur, que incluye a toda la cuenca del Paraná. América del

Sur está flanqueada por anticiclones en ambos océanos (Atlántico y Pacífico) en las latitudes tropicales. El anticiclón del Atlántico Sur, que circula en sentido contrario a las agujas del reloj, influye directamente en el clima de la cuenca del Paraná, originando masas de aire cálidas y húmedas, sobre todo en verano. En el invierno, los vientos fríos y secos del Sur originados por el anticiclón del Pacífico Sur, marcan el clima invernal. Por lo señalado anteriormente, la cuenca del Paraná presenta un clima tropical-subtropical con un gradiente Norte-Sur en las temperaturas y un gradiente Este-Oeste en las precipitaciones, con la presencia de un anticiclón estacional en la región del Chaco. Este complica la simplicidad de este modelo. La distribución de las alturas sobre el nivel del mar también es importante en el sentido Este-Oeste, en donde el clima se desarrolla topográficamente complejo siguiendo las estructuras principales. En primer lugar, la circulación general de la atmósfera obliga a la Zona de Convergencia Inter-Tropical durante el verano austral (diciembre a febrero), a la producción de lluvias en la mayor parte de la cuenca (Iriondo y Paira, 2007).

En el invierno existe una escasez pluvial (junio-agosto), la cual se debe a que durante dicha estación, el anticiclón del Atlántico se extiende sobre el continente para unirse con el anticiclón del Pacífico. Este hecho, da como resultado la supresión de los procesos convectivos y en consecuencia, de las lluvias. Las precipitaciones al Sur de la cuenca son de dos tipos: chubascos y lluvias menos intensas, pero persistentes y extensas, que ocurren con el desarrollo de frentes retrógrados y durante una sudestada (Paoli *et al.*, 2000).

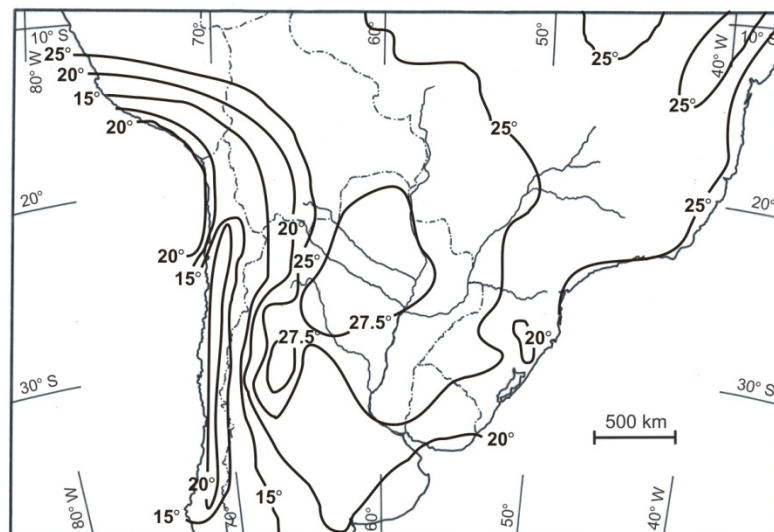
Como se observa en la Figura 2.3, la precipitación media anual es una información muy general, pero sin embargo, muy útil para caracterizar el régimen de lluvias en grandes regiones como la cuenca del Paraná (Figura 2.3). Según Paoli *et al.* (2000), analizando el periodo 1961-1990 sobre la cuenca es mayor a 1.200 mm y está distribuida desigualmente, con un máximo absoluto de más de 2.250 mm anuales sobre la parte media de la cuenca del Río Iguazú y la parte media de la alta cuenca del Río Uruguay. El mínimo absoluto se registra en las altas cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo, donde la precipitación media anual es aproximadamente de 500 mm por año. Es de hacer, notar que la isohieta media anual de 1.250 mm, coincide prácticamente con el segmento fluvial del Río Paraná en su tramo medio.

Figura 2.3: Precipitaciones medias anuales. Fuente: Iriondo y Paira, 2007.



La caracterización climática general de la cuenca presenta un clima tropical húmedo en el Noreste (15° S), cambiando a subtropical húmedo/templado en el Sur (35° S) y subtropical desértico (“climas de montaña”) en el Oeste, considerándose inexistentes o irrelevantes las nevadas y heladas. Los registros de temperatura media en enero indican que la región del Chaco es la zona más caliente de América del Sur, por encima de 27,5° C, resultando para el tramo medio del Paraná, una variación de las temperaturas medias para enero de los 27,5 °C a 25 °C de Norte a Sur (Figura 2.4; Paoli *et al.*, 2000).

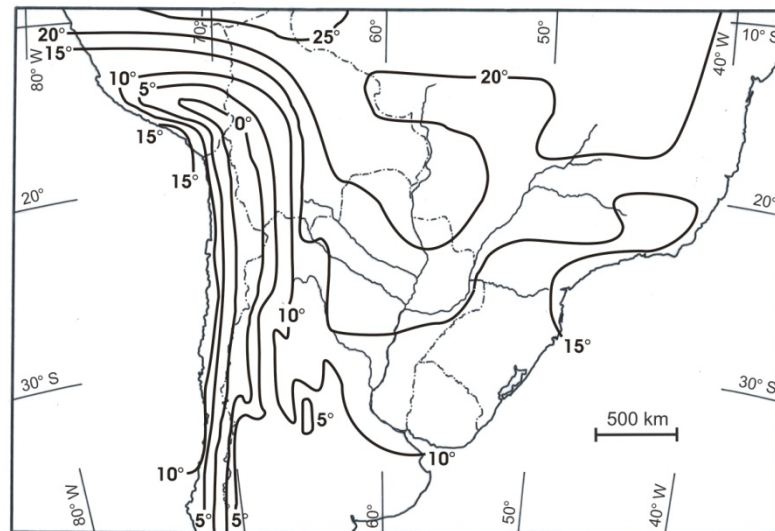
Figura 2.4: Temperaturas medias del aire para el mes de enero. Fuente: Iriondo y Paira, 2007.



Para las temperaturas medias en julio el rango es mayor, variando entre 20° y

25° C en el Norte y entre 10° a 15° C en el Sur y para el tramo medio del Paraná de 17° C (al Norte) a 12° C (al Sur) (Figura 2.5; Paoli *et al.*, 2000).Figura 2.4: Temperaturas medias del aire para el mes de enero. Fuente: Iriondo y Paira, 2007.

Figura 2.5: Temperaturas medias del aire para el mes de julio. Fuente: Iriondo y Paira, 2007.



2.1.3. Descripción específica del Río Paraná Medio y su llanura aluvial

El Río Paraná Medio tiene una llanura aluvial de 20.000 km² aproximadamente (Iriondo, 1988; Ramonell *et al.*, 2000), que contiene un mosaico heterogéneo de cuerpos de agua lóticos y leníticos que van cambiando de formas y superficies de acuerdo a las variaciones dinámicas de los procesos fluviales y la evolución a corto y largo plazo que sufren las diferentes unidades geomorfológicas de su planicie aluvial. Su ancho es de 10 km en Corrientes y va aumentando paulatinamente hasta 40 km en el ápice del delta ubicado entre Diamante (Entre Ríos) y Puerto Gaboto (Santa Fe). El desnivel o diferencia de cota es de 38 m desde Puerto Vilelas (Chaco) a Isla La Peineta (al Sur de Diamante) resultando una pendiente muy baja de $6,33 \times 10^{-5}$.

La llanura aluvial está disectada por una densa red de cauces secundarios, algunos permanentes, y otros activos sólo durante las inundaciones. Estos cauces secundarios de diversa jerarquía hidrológica (según su mayor o menor caudal; Drago *et al.*, 2003), constituyen la red de drenaje de la llanura.

Los sedimentos acumulados tanto en el cauce principal como en los ambientes lóticos y leníticos de la llanura aluvial del Paraná, provienen de las subcuencas del eje

potámico Paraná-Paraguay, con características muy diferentes en lo que respecta a caudal, sedimentos y presión antrópica.

La formación de bancos e islas es muy dinámica en todo el tramo del Río Paraná Medio; constituyen macro-formas con una apariencia en planta con forma de diamante, angosta y alargada. Son muy comunes los bancos en el extremo de aguas abajo de las islas, denominados “bancos de cola” o en sus bordes laterales, los “bancos marginales”. Menos frecuentes son los llamados “bancos en herradura” originados a partir de un núcleo arenoso y con dos depósitos creciendo hacia aguas abajo y encerrando alguna laguna generalmente pequeña y somera. Los depósitos formados aguas arriba o en el frente de los grandes bancos e islas, llamados “bancos de cabecera”, se forman junto con los otros tipos en los tramos entrelazados o ensanchados del cauce (Drago, 1973, 1990a). Los bancos de cabecera predominan con el 77% y los bancos de cola prevalecen en un 15%, mientras que los de herradura son los menos frecuentes (Drago *et al.*, 2014).

Las islas corresponden a un estado más avanzado que los bancos y se debe a que fueron cubiertas paulatinamente, durante un tiempo determinado, por bosque fluvial. La vegetación es muy variada, destacándose árboles de buen porte sobre los albardones (monte blanco y negro; Fritschy, 1997), arbustos, pastizales y densas coberturas palustres a medida que nos acercamos a las partes deprimidas de las islas (Paira y Drago, 2006, 2007).

La llanura aluvial presenta distintas unidades geomorfológicas (Iriondo, 1972, 1988, 2007; Barzanti *et al.*, 1991; Marchetti *et al.*, 2013a), que durante las crecientes se inundan, total o parcialmente, de acuerdo a las cotas o alturas que presentan con respecto a los niveles hidrométricos.

La vegetación tiene una destacada importancia en el modelado y origen de las islas y de la llanura aluvial, pudiendo funcionar como protección por su rugosidad en las crecientes (inundación o potamofase) actuando sobre el escurrimiento del agua. Genera también importantes áreas de sedimentación en donde se origina un crecimiento de la vegetación acuática en los períodos entre potamofase (aguas altas) y limnofase (aguas bajas; Neiff, 1999). Marchetti *et al.* (2013), concluyeron que las principales variaciones de la dinámica de la vegetación muestran una mayor dependencia con la dinámica del ciclo hidrológico que con relación a la temperatura o la precipitación y a su vez, la dinámica hidrológica de la llanura de inundación del Río Paraná está a su vez regulada por la arquitectura geomorfológica, por lo que la dinámica anual de la actividad de la vegetación está finalmente influenciada por la

altura de la unidad geomorfológica y no por los procesos de corta duración como los ciclos hidrológicos o pulsos de sequía.

En los picos máximos de las inundaciones (por ejemplo, durante los eventos ENOS), las lagunas aluviales se fusionan en una superficie continua de agua que cubre toda la llanura, cambiando a veces drásticamente sus condiciones lénticas (Capítulo 1, Figura 1.2). Por el contrario, durante las fases de sequía, casi la mitad de las lagunas no tienen cauces tributarios y/o emisarios y la cuarta parte de ellas solo uno (Paira, 2003). 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 al.*, 2003). Para tener una idea de tales variaciones, el Paraná en la ciudad homónima, el nivel hidrométrico medio del río varía anualmente 1 m aproximadamente, alcanzando variaciones anuales máximas de más de 4 m (período 1905-2015).

El curso medio e inferior del río Paraná escurre a lo largo de una alineación tectónica, probablemente del Pleistoceno. La mayoría de los bloques tectónicos se inclinan hacia el este, en consecuencia, el cauce principal fluye a lo largo del pie de la barranca oriental del valle hasta la localidad de Diamante (Entre Ríos), para luego cambiar de margen y escurrir por sobre la ribera derecha (Iriondo, 1988, 2007; Paoli *et al.*, 2000).

El cauce principal muestra una baja estabilidad (18 %, relación carga de fondo/carga total), porcentajes altos de erosión y sedimentación lateral principalmente en el borde o frontera entre el cauce principal y la llanura de inundación. Son frecuentes los marcados e inestables desplazamientos de bancos de arena e islas, entre otros procesos (Drago, 1977, 1990a). En los tramos estrechos o puntos nodales el río fluye en un solo cauce, siendo estos estrechamientos controlados por fracturas transversales o limitaciones litológicas (Iriondo, 1988, 2007; Drago *et al.*, 2003).

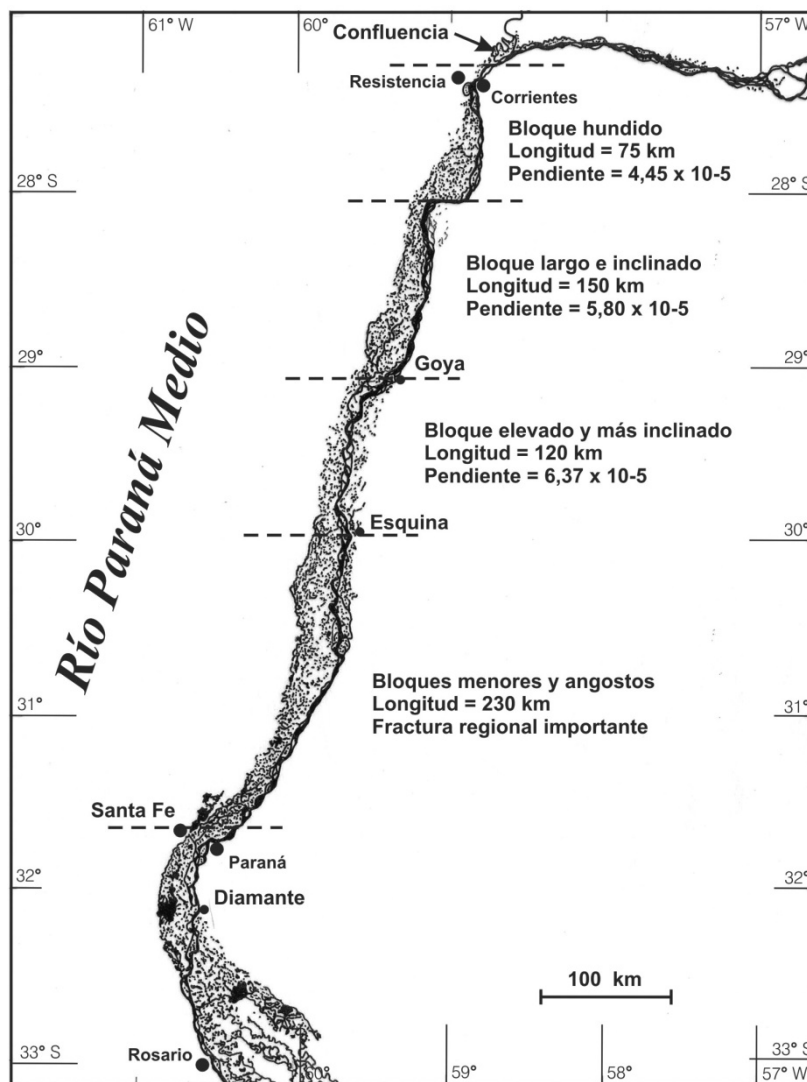
2.1.4. Geometría de los bloques

Desde la confluencia con el Río Paraguay hasta los 28° 10' de latitud Sur, el río fluye unos 75 km sobre un bloque hundido, ensanchándose la llanura aluvial de 13 a 45 km y con una pendiente hidráulica del cauce principal de $4,45 \times 10^{-5}$. El bloque o segmento siguiente tiene una longitud de 150 km y un ancho que varía de 25 a 35 km de la llanura aluvial y con una pendiente mayor de $5,80 \times 10^{-5}$. Desde las localidades correntinas de Goya hasta Esquina (30° Sur), la planicie aluvial cruza un bloque elevado con una mayor pendiente de $6,37 \times 10^{-5}$. Aguas abajo, esta faja atraviesa

varios bloques menores y se angosta de 40 km a 8 km en Santa Fe, una sección que debe sus características a una importante fractura regional (Iriondo, 1988, 2007; Paoli *et al.*, 2000; Figura 2.6).

Siguiendo con estos autores, en la mayor parte del tramo que va desde Confluencia hasta Santa Fe, el cauce principal fluye a lo largo de la barranca que se ubica sobre la ribera izquierda de la llanura aluvial. Este hecho indica un basculamiento Oeste-Este de los bloques tectónicos. Inmediatamente aguas abajo, desde Diamante (Entre Ríos) hasta el ápice del delta el cauce principal, el cauce principal atraviesa diagonalmente su llanura aluvial hasta adosarse sobre su ribera derecha.

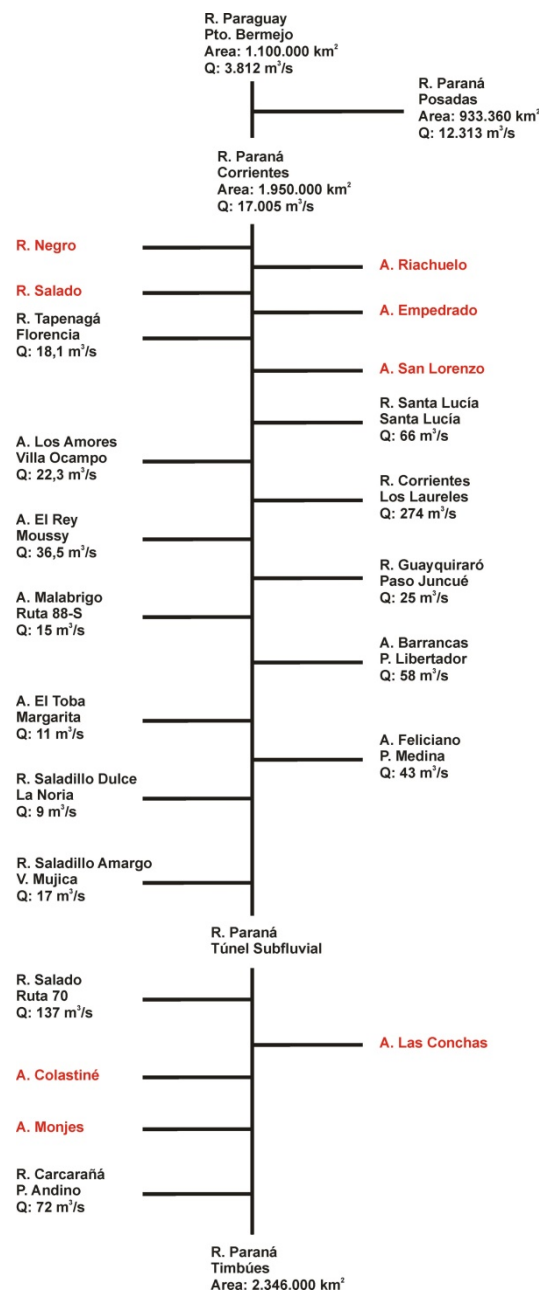
Figura 2.6: Localización de los bloques y sus características según Iriondo (2007) en el tramo medio del Río Paraná.



2.1.5. Características hidrológicas

En el tramo medio el Río Paraná recibe por su margen derecha una serie de cursos de los cuales los más significativos son: Río Negro, Salado, Tapenagá, Los Amores, del Rey, Malabrigo, El Toba, Saladillo Dulce, Saladillo Amargo, Salado del Norte, Colastiné, Monges y Carcarañá. Por su margen izquierda se pueden mencionar los siguientes: Riachuelo, Empedrado, San Lorenzo, Santa Lucía, Corrientes, Guayquiraró, Barrancas, Feliciano y Las Conchas (Giacosa *et al.*, 2000; Figura 2.7).

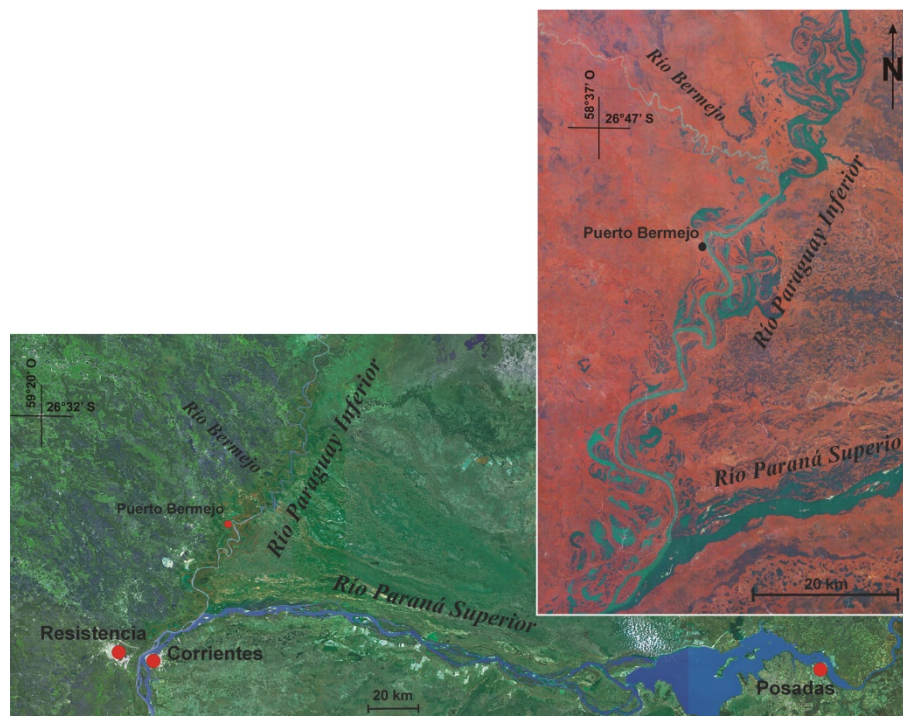
Figura 2.7: Diagrama de aportes de la cuenca del Río Paraná en su tramo medio. Los cursos en rojo no fueron medidos sus caudales. Fuente: Giacosa *et al.*, 2000.



En todo el tramo medio, se ha estimado que en promedio los afluentes de ambas márgenes aportan alrededor de $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, de los cuales $466 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ son aportes medidos de la margen izquierda (Corrientes y Entre Ríos) cuya superficie de escurrimiento es de 78.000 km^2 y $326 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de la margen derecha (Chaco y Santa Fe) cuya superficie de aporte es de 367.000 km^2 . Los cursos de agua de mayor caudal son el río Salado del Norte con $137 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en la margen derecha y el río Corrientes con $274 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la margen izquierda (Giacosa *et al.*, 2000). Este último curso de agua, además de ser un afluente del Paraná, escurre durante una considerable distancia a través de la llanura aluvial antes de conectarse finalmente a la corriente principal del Paraná, por lo cual se lo considera un ejemplo típico de río tipo Yazoo (Lobeck, 1939; Paira, 2003).

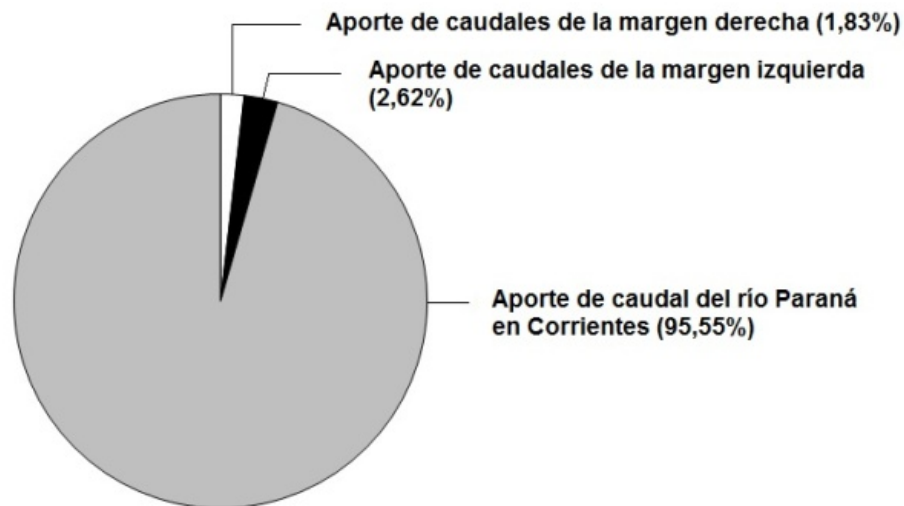
Los derrames del río Paraná en territorio argentino están gobernados por los aportes que se producen aguas arriba, fuera del territorio nacional. En el tramo denominado medio ingresan $17.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, resultante de la suma de los caudales del propio río Paraná Superior, de $12.400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en Posadas y del río Paraguay con $3.800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en Puerto Bermejo (Giacosa *et al.*, 2000). En la Figura 2.8 se puede apreciar claramente la diferencia de aportes de cada uno de los cursos de agua.

Figura 2.8: Confluencia del Río Paraguay y del Río Paraná en su tramo superior, en donde se puede apreciar las diferencias de caudales de cada uno de ellos y su carga de sedimentos. Fuente: Popolizio, 2003.



Giacosa *et al.* (2000) concluyen con la evidencia, que el régimen del Río Paraná es gobernado por los aportes provenientes de aguas arriba, ya que en todo el tramo los afluentes de ambas márgenes incrementan sólo un 5 % el caudal total (Figura 2.9).

Figura 2.9: Aportes de caudales en porcentaje de cada margen y del curso principal del río Paraná en su tramo medio. Fuente: Giacosa *et al.*, 2000.



Los caudales medios mensuales en el ingreso al tramo medio (Corrientes) tienen su valor máximo en el período febrero-marzo ($21.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y mínimos en agosto-setiembre ($13.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Ambos presentan, aproximadamente, un desfase de un mes para llegar a la localidad de Timbúes (Santa Fe; Giacosa *et al.*, 2000).

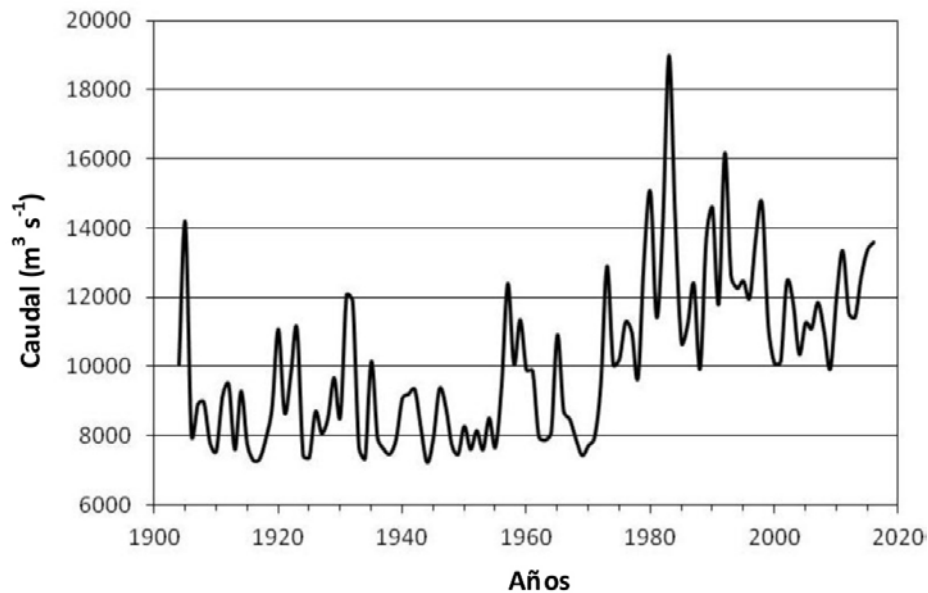
Analizando las series de caudales anuales en las localidades de Corrientes, Paraná y Timbúes sobre el Río Paraná y Bermejo en el Río Paraguay, Giacosa *et al.* (2000), observan que hay un primer período desde comienzos del siglo hasta los años 30, en que los aportes anuales se mantienen alrededor del valor medio con una leve tendencia positiva. Un segundo período comienza en los años 30 y va hasta la década del 60-70 donde se producen los caudales anuales más bajos de todo el siglo XX, dando lugar a una leve tendencia negativa; y a partir de la década del 60-70, comienzan a presentarse con mayor frecuencia caudales anuales mayores que la media lo que da lugar a que se invierta la tendencia.

Las grandes represas generadoras de energía que están ubicadas en el Alto Paraná, tienen poca capacidad de almacenamiento comparado con el volumen de una crecida, por ende no son las que originan las inundaciones registradas aguas abajo.

Registros elevados de niveles hidrométricos en el Río Paraná Medio pueden significar crecidas en los ríos Paraná Superior e Iguazú, como también en el Río Paraguay, donde no existe ningún aprovechamiento hidroeléctrico (Giacosa *et al.*, 2000).

Giacosa *et al.* (2000), detallan los factores de cambios más importantes que podrían haber afectado la hidrometeorología de la cuenca del río Paraná: la deforestación en las cuencas, por ejemplo, en el Estado de Paraná (Brasil) en el año 1890, tenía una cobertura de vegetación autóctona del 83 %, llegando 100 años después a 15 %, debido fundamentalmente, a las prácticas de agricultura intensiva; el desarrollo hidroeléctrico, el cual imprime un régimen de caudales mínimos más altos (Figura 2.10); el aumento en magnitud y distribución, de las precipitaciones; el consecuente incremento en los caudales en las cuencas del Paraná y Alto Paraguay; y el incremento en el desarrollo urbano, principalmente en la cuenca del Paraná Superior.

Figura 2.10: Caudales mínimos anuales para el período 1904-2016 del Río Paraná Medio en la ciudad de Paraná (Entre Ríos; calculados según Dpto. Paraná Medio DNCPyVN periodo 1904-1975; FICH periodo 1971-1980 y 1983-2016).



2.1.6. Los sedimentos del lecho

El Río Paraná en su tramo medio, es un gran cauce aluvial con lecho conformado principalmente por arenas medias, con un diámetro medio de los sedimentos del lecho, coincidentes en su mayoría, con las arenas medias (de 0,250 a 0,500 mm según escala de Wenworth; Drago y Amsler, 1998; Ramonell y Montagnini,

1999).

Ramonell y Montagnini (1999), establecen que en la mayoría de los casos, el diámetro medio del material del lecho apenas varía de 0,250 mm a 0,380 mm, siendo los granos esféricos/subesféricos de cuarzo y bien redondeados.

Aguas abajo de Paso de la Patria, Drago y Amsler (1998) observaron una disminución del tamaño medio de las partículas con el decrecimiento de la pendiente de la superficie del agua que impide el transporte de los granos de arena por el lecho (Figura 2.11). En la Tabla 2.1 se puede apreciar lo citado anteriormente además de la disminución del porcentaje de arenas gruesas del lecho (expresado en porcentaje del peso de las arenas) debido a la reducción de la energía por la disminución de la pendiente.

Figura 2.11: Diámetro medio de los sedimentos del lecho del Río Paraná en el thalweg desde Itá Ibaté (Corrientes, rkm 1380) hasta Arroyo Seco (Santa Fe, rkm 389), donde rkm: kilometraje del boyado del thalweg. Sitios de muestreo: 1: Itá Ibaté, 2: Paso de la Patria, 3: Corrientes, 4: Isla El Sombrero, 5: Empedrado, 6: Bella Vista, 7: Lavalle, 8: Esquina, 9: La Paz, 10: Brugo, 11: Aguas Corrientes (Paraná), 12: Diamante, 13: Paso Paranacito, 14: La Florida, 15: Paso Alvear, 16: Arroyo Seco. Fuente: Modificado de Drago y Amsler, 1998.

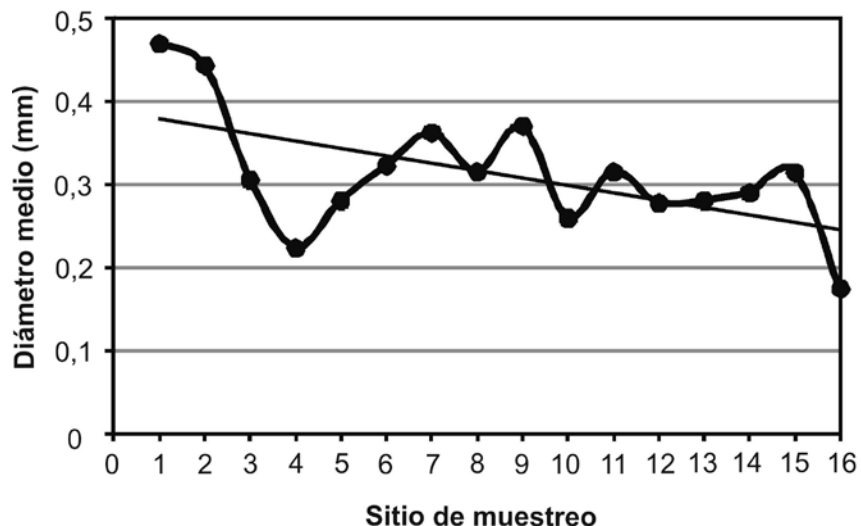


Tabla 2.1: Características granulométricas del sedimento del Río Paraná en el thalweg desde Itá Ibaté (Corrientes, rkm 1380) hasta Arroyo Seco (Santa Fe, rkm 389), rkm: kilometraje del boyado del thalweg, dg: diámetro medio del grano. Fuente: Drago y Amsler, 1998.

Sitio	rkm	dg (mm)	Arena muy gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	pendiente x 10 ⁻⁵
Itá Ibaté	1380	0,470	39	61	0,4	0	
Paso de la Patria	1244	0,444	29	52	12,2	0,7	
Corrientes	1208	0,306	66	27	2,3	1	4,91
Isla El Sombrero	1170	0,224	3	47	32	15	
Empedrado	1140	0,281	7	46	45	2,2	5,10
Bella Vista	1060	0,323	18	38	40	1,6	
Lavalle	1008	0,363	14	69	13	0,5	
Esquina	867	0,316	10	82	6,2	0,2	5,83
La Paz	745	0,371	22	49	22	2,2	
Brugo	680	0,260	1,4	77	20	0,2	4,17
Túnel Subfluvial	605	0,316	6,8	63	28	0,5	4,39
Diamante	531	0,278	2,5	75	22	0,4	
Paso Paranacito	498	0,281	0,1	74	26	0,1	3,00
La Florida	429	0,291	3,1	63	33	0,4	
Puerto Alvear	408	0,315	6,8	76	16	0,4	
Arroyo Seco	389	0,175	0,1	4	91	6,3	1,10

En el Paraná Medio existen cuatro grupos de formas de lecho en su cauce principal, las óndulas (altura inferior a 0,30 m), las megaóndulas (altura entre 0,30 y 1,50 m), las dunas (altura entre 1,50 y 7,50 m) y las ondas de arena (altura entre 7,50 y 15 m) (Drago, 1977). En aguas altas las dunas se desplazan hacia aguas abajo con una velocidad media de 12 m d⁻¹ y las óndulas y megaóndulas 37 m d⁻¹ y durante aguas bajas el movimiento decrece a 3,3 m d⁻¹ para las dunas y 9,9 m d⁻¹ para las óndulas sobreimpuestas y las megaóndulas (Lima *et al.*, 1990). Amsler y Gaudin (1994) midieron en el thalweg dunas de hasta 17,12 m de altura en un tramo del Paraná, en Villa Urquiza (Entre Ríos) y aguas abajo, en la sección del Túnel Subfluvial Hernandarias (Paraná-Santa Fe), en el thalweg la Comisión Administradora Ente Túnel Subfluvial Hernandarias ha medido dunas de hasta 25,60 m de altura precisamente durante la creciente del '83, ambos con una relación muy importante con el nivel hidrométrico del río, esto es, a mayor nivel hidrométrico mayor altura de duna (Amsler y Prendes, 2000).

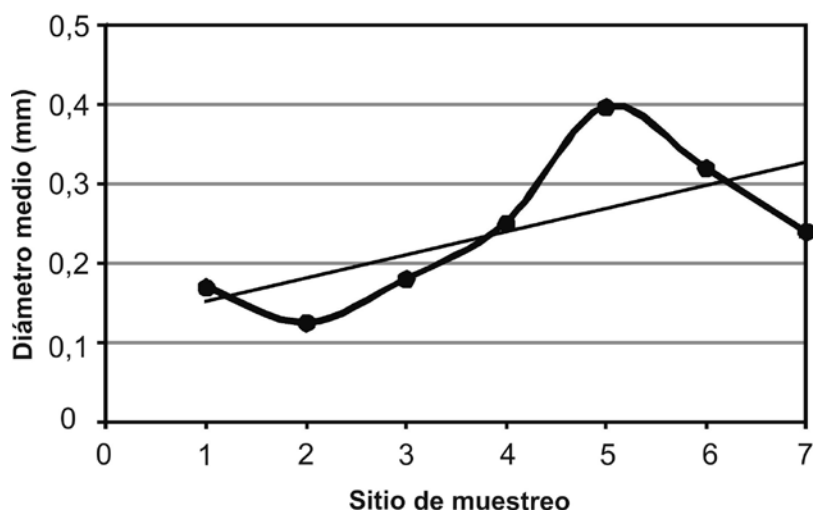
El Río Paraguay en su tramo inferior y en la faja central posee en su lecho arenas finas (de 0,125 a 0,250 mm) a medias (de 0,250 a 0,500 mm) que oscila del 80% a 99,6% del total, con dunas de más de 4 metros de altura en algunos tramos (Drago *et al.*, 2008a). El tamaño promedio del grano del sedimento (d₅₀) es de 0,238 mm (Drago *et al.*, 2008) y 0,240 mm (Drago y Amsler, 1998). Éste se incrementa a

partir de la localidad de Colonia Cano (km 300) atribuido posiblemente a la descarga del río Tebicuary (Drago *et al.*, 2008), pero en general los sedimentos van aumentando su tamaño hacia aguas abajo (desde Asunción hasta la Confluencia). En la Tabla 2.2 se puede observar como aumenta el porcentaje de las arenas medias y gruesas al igual que la pendiente de la superficie del agua (Figura 2.12, Drago y Amsler, 1998).

Tabla 2.2: Características granulométricas del sedimento del río Paraguay en el thalweg desde Asunción (Paraguay, rkm 0) hasta Confluencia (Argentina, rkm 390), rkm: kilometraje del boyado del thalweg, dg: diámetro medio del grano. Fuente: Drago y Amsler, 1998.

Sitio	rkm	dg (mm)	Arena muy gruesa (%)	Arena media (%)	Arena fina (%)	Arena muy fina (%)	pendiente x 10 ⁻⁵
	0-89	0,170					
Arriba del Bermejo	84	0,125	0,01	2,25	88	7,7	2,27
	89-230	0,180					2,58
	230-340	0,250					2,67
	315	0,397	20,3	64,8	10,3	2,9	
	340-361	0,320					4,03
	361-390	0,240					3,98

Figura 2.12: Diámetro medio de los sedimentos del lecho del río Paraguay en el thalweg desde Asunción (Paraguay, rkm 0) hasta Confluencia (Argentina, rkm 390), rkm: kilometraje del boyado del thalweg. Sitios de muestreo: 1: Asunción, 2: aguas arriba de la desembocadura del río Bermejo, 3: rkm 89-230, 4: rkm 230-340, 5: rkm 315, 6: rkm 340-361, 7: rkm 361-390. Fuente: Drago y Amsler, 1998.



Los cauces secundarios del Río Paraná Medio conforman una compleja red de drenaje de la llanura de inundación y con su dinámica hidromorfológica originan una gran heterogeneidad en el paisaje fluvial (Drago *et al.*, 2003). Son cursos meandriformes, donde son comunes los diseños tortuosos, y a veces con corrientes de baja energía asociadas a sedimentos predominantemente cohesivos. En los cauces secundarios principales (Colastiné, Coronda, San Javier, entre otros) pueden detectarse en sus fajas centrales bancos de arena y hasta pequeñas islas. En sus lechos móviles desarrollan dunas y ondulaciones de hasta 3 m de altura y tipos de pozos con génesis diferentes desde 5 m a 17 m de profundidad, que van desde los pozos originados en las curvas de meandros, en las bifurcaciones, en las confluencias y los ubicados aguas abajo de la boca de entrada de los cauces secundarios principales cuando fluyen hacia la llanura de inundación, denominados *pozos de pie de albardón*, entre otros (Drago *et al.*, 1999; Ramonell *et al.*, 2006, 2007).

Los cauces secundarios de menor jerarquía (caudales menores a 200 m³/s), presentan ondulaciones pequeñas en sus lechos, menores a 0,30 m con un sedimento predominantemente limo-arcilloso y parches de arena (Paira y Drago, 2007). En la Tabla 2.3 se puede observar la composición granulométrica de los sedimentos del lecho, expresados en porcentajes del peso, del cauce principal del Paraná y de los cauces secundarios principales y menores (o de menor jerarquía).

Tabla 2.3: Características granulométricas del material del lecho en el valle del Paraná Medio, media aritmética y desvío estándar. Fuente: Paira y Drago, 2007.

	Cauce principal Río Paraná Medio		Cauces secundarios principales		Cauces secundarios menores	
	Media	Desvío estándar	Media	Desvío estándar	Media	Desvío estándar
Arena (%)	98,97	1,671	97,50	2,646	17,25	14,033
Limo (%)	0,70	1,922	1,50	1,290	51,50	12,014
Arcilla (%)	0,19	0,431	1,00	1,414	31,25	9,179

Los cauces secundarios de mayor jerarquía desarrollan acumulaciones de arena móviles con predominio de tamaños de grano medio y grueso. Parches de arena-limosa o limo-arenoso se encuentran en las zonas de aguas quietas o aguas muertas (sin velocidad de corriente) principalmente aguas arriba o aguas abajo de los bancos de punta (Drago *et al.*, 2003; Paira y Drago, 2007).

2.1.7. Los sedimentos suspendidos

El tramo medio del río Paraná transporta anualmente, un promedio de 130 a 135 millones de toneladas de sedimentos donde cerca del 80 % es *carga de lavado*. Están compuestos por las partículas más finas con tamaños del orden de los limos y arcillas. El resto son arenas finas y medias suministradas por su propio lecho y se contabilizan como *carga de fondo* (2,2 millones de toneladas) y *carga suspendida* (23 millones de toneladas; Amsler *et al.*, 2007). Estos autores afirman también, que en los cauces secundarios principales de su llanura aluvial, como los ríos San Javier, Leyes, Colastiné y Coronda, que son alimentados, directa o indirectamente, por el propio cauce principal, la proporción de la carga de lavado transportado es también absolutamente predominante (entre 2,5 y 9 millones de toneladas por año). También estiman los aportes anuales de arena que oscilan entre 50 mil toneladas por año en el río San Javier y 1,5 millones de toneladas por año en el Río Colastiné.

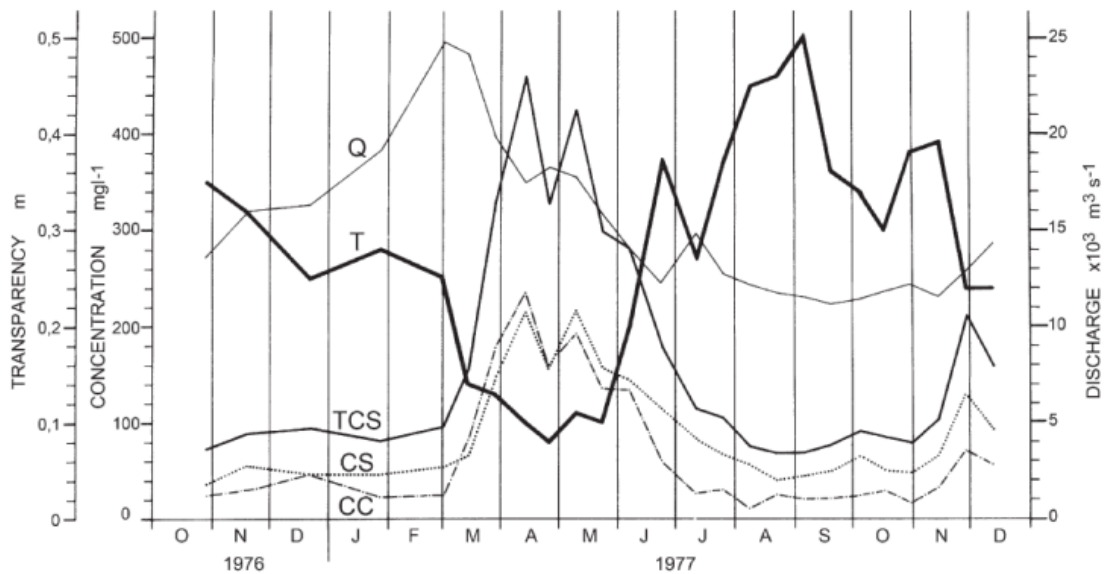
Las fracciones más finas transportadas en suspensión por el Paraná Medio se deben al aporte del Río Bermejo, como fue reportado hace tiempo por Soldano (1947) y Cotta (1963).

La carga de sedimentos proveniente del río Bermejo, ingresa sobre la margen derecha del Paraná luego de Confluencia, originando una distribución asimétrica con concentraciones máximas de 1.221 mg l⁻¹ contra 88 mg l⁻¹ sobre la margen izquierda, la que perdura por 400 km hacia aguas abajo (Bonetto y Orfeo, 1984; Orfeo y Stevaux, 2002). Unos años después, Prendes *et al.* (1996) midieron concentraciones de 1.100 mg l⁻¹ sobre la margen derecha y menos de 50 mg l⁻¹ en la izquierda, estableciendo que esta diferencia llega a notarse hasta las proximidades de la ciudad de Goya, más de 200 km aguas abajo. Es decir, que la carga de sedimentos provenientes del Bermejo en la margen derecha del Paraná, es más de 20 veces superior respecto de aquella de la margen izquierda. Por lo tanto, se necesitan varios días para que la mezcla se uniformice en toda la sección del cauce principal.

Drago (1984), comprobó que el Río Bermejo, a través del Río Paraguay, proporciona una importante carga de lavado durante el período de diciembre a mayo de cada año hidrológico, siendo las concentraciones máximas de sedimentos en todo el sistema del Río Paraná Medio, por lo general, en marzo y abril, quedando desfasadas de los caudales máximos. Estos picos de crecidas se originan en la alta cuenca del río Paraná, llegando a la confluencia con el Río Paraguay antes de las altas concentraciones de sedimentos que provienen del Río Bermejo (Figura 2.13). Debe destacarse además, que los sedimentos finos y el agua provienen de diferentes

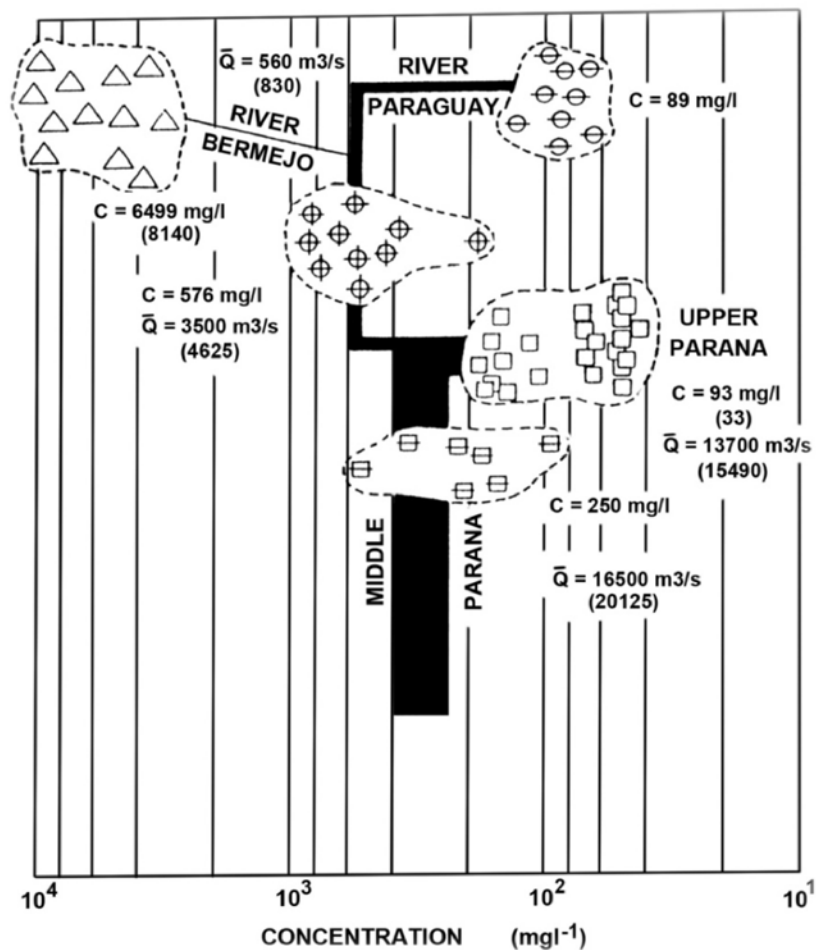
cuencas; los primeros del eje fluvial Bermejo-Paraguay y la segunda del Paraná Superior.

Figura 2.13: Variaciones temporales en el cauce principal del Río Paraná en los años 1976-77 de la transparencia del agua (T), caudal (Q), concentración total de sedimentos suspendidos (TCS), concentración de arcilla (CC) y concentración de limo (CS). Fuente: Drago, 1984.



Amsler y Drago (2009), han actualizado el balance de sedimentos (esencialmente la carga de lavado), en la entrada al tramo medio del Río Paraná en base a los datos de concentración obtenidos durante 1993-2003. Sus resultados se muestran en la Figura 2.14, en donde se pueden observar dos hechos claramente perceptibles: 1) el gran aporte del río Bermejo con sus concentraciones de carga de lavado al Paraná aguas abajo de la confluencia con el Río Paraguay; y 2) las bajas concentraciones de carga de lavado que provienen del Paraná Superior.

Figura 2.14: Concentraciones de sedimentos suspendidos y caudales medios en los ríos Bermejo, Paraguay y Paraná durante el período de descarga máxima de sólidos. C: valor medio de cada grupo sobre el total de concentraciones y Q: caudal, durante la década del setenta y entre paréntesis para el periodo 1993-2003. Fuente: Amsler y Drago, 2009.



Como conclusión y haciendo un balance general, el valle aluvial recibe cargas de sedimentos a través de su cauce principal y sus cauces secundarios que se depositan en las zonas deprimidas (como los ambientes leníticos en donde las velocidades disminuyen marcadamente, llegando a ser nulas en la mayoría de los casos, promoviendo la depositación). Estos procesos generan cambios morfológicos no solo en los ambientes leníticos, sino también en los lóticos. Además, estos sedimentos llegan hasta el propio Río de la Plata donde consecuentemente sedimentan, creando el avance del delta sobre el estuario de unos cuantos metros por año (de 0 a 25 m año⁻¹ asociados al Paraná Guazú y 50 a 75 m año⁻¹ para el Paraná de las Palmas; Sarubbi, 2007).

2.2. Los tres tramos estudiados (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio

A modo de introducción general a la división en tramos planteada en esta Tesis, Popolizio (2003) señala que la geomorfología del valle fluvial del Paraná se

debe a condiciones heredadas diferentes a las actuales, con formas del relieve que están actuando sobre las anteriores y modelando permanentemente su cuenca.

Iriondo (2007), sostiene que el Río Paraná Medio fluye de Norte a Sur a lo largo de una línea tectónica, cuya alineación sea probablemente del Pleistoceno, siendo un elemento complejo que atraviesa pequeños bloques que sufren movimientos verticales independientes, en donde la mayor parte de los bloques están inclinados hacia el Este. Por consiguiente, el cauce principal tiende a fluir a lo largo del acantilado oriental de la planicie de inundación. Además, y en general, la parte superior de la llanura de inundación, de Corrientes a Bella Vista, está en proceso de hundimiento, el sector entre Santa Fe y Rosario, tiende a elevarse y el sector intermedio que está compuesto por varios bloques menores, presenta un comportamiento no uniforme. Por consiguiente, el gradiente hidráulico del río se compone de una secuencia de segmentos con diferentes pendientes. Esta segmentación, es una de las primeras observaciones que plantea Iriondo (1988), en donde divide aún más el valle del Paraná, basada exclusivamente, en los cambios de la pendiente media de los bloques tectónicos que lo componen.

Neiff (1990), plantea que ríos como el Paraguay y el Paraná, con extensas planicies de inundación, las Limnofases y Potamofases, tienen características diferentes en función del gradiente topográfico y de la posición relativa respecto del canal o los canales de escurrimiento que ocupan distintos segmentos del paisaje. Si bien las curvas hidrométricas en distintas localidades constituyen un valioso indicador de la variabilidad del río, esta información no permite conocer el “estrés” de anegamiento o de sequía de los distintos paisajes de la llanura de inundación, concluyendo que es preciso comparar la posición topográfica de las áreas inundables en relación con la posición del hidrómetro de la localidad más próxima.

Con la información disponible y con el propósito de dar respuestas a los objetivos planteados en esta Tesis, resultó apropiado segmentarlo en tramos con el fin de estudiar la morfología cuantitativa y la evolución de las lagunas en función de las unidades geomorfológicas. Se dividió el valle aluvial de 720 km del Río Paraná Medio en tres tramos, en donde se tuvo en cuenta primordialmente, la topografía de la planicie aluvial del mismo. A la división en tramos se la denominaron: Tramo Norte, Tramo Centro y Tramo Sur.

El Tramo Norte, comienza en la confluencia de los ríos Paraguay y Paraná, aguas arriba de la sección transversal compuesta por las ciudades de Corrientes (Corrientes) y Resistencia (Chaco), hasta la siguiente sección transversal conformada

por las ciudades de Goya (Corrientes) y Reconquista (Santa Fe). La superficie del tramo es de 5.853 km², la superficie trabajada 2.259 km² (lo que representa el 38,6 %) y la longitud de 270 km (siguiendo la ruta de navegación del río; Tabla 2.4 y Figuras 2.15 y 2.16).

El Tramo Centro, se inicia en esta última sección transversal (Goya-Reconquista) hasta el km 640 del boyado o ruta de navegación en el Río Paraná, trazando una línea imaginaria que empieza en El Cerro e Isla Chapetón en la Provincia de Entre Ríos y siguiendo el curso del Río Colastiné, en la Provincia de Santa Fe. Este tramo denominado Centro, tiene la mayor superficie y también la mayor longitud sobre el Río Paraná de los tres estudiados, siendo de 8.818 km² y 340 km, respectivamente. La superficie trabajada es 2.738 km², resultando el 31,1 % del tramo (Tabla 2.4 y Figuras 2.15 y 2.16).

Continuando con el último y tercer tramo, el Tramo Sur, comienza desde la sección El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné hasta la sección transversal conformada por las localidades de Diamante en la Provincia de Entre Ríos y Arocena en la Provincia de Santa Fe. Este tramo, es el más reducido en superficie y corto en longitud, con 1.123 km² y 110 km de recorrido sobre el río, respectivamente. La superficie trabajada abarcó la totalidad del tramo (Tabla 2.4 y Figuras 2.15 y 2.16).

El área estudiada desde la Confluencia de los ríos Paraguay y Paraná, hasta Diamante (Entre Ríos)-Arocena (Santa Fe) abarca una superficie de 15.794 km², la superficie efectiva trabajada con material aerofotogramétrico de las décadas del '50 y '60 es de 6.120 km², representando el 38,7 % del área de la llanura de inundación del Río Paraná (Tabla 2.4 y Figuras 2.15 y 2.16).

Tabla 2.4: División de los tramos, indicando el inicio y la finalización geográfica, superficie (km²) de cada tramo y trabajada (km²), porcentaje y longitud (km) de cada tramo en el Río Paraná.

Tramo	Desde	Hasta	Superficie del tramo (km ²)	Superficie trabajada (km ²)	Porcentaje superficie trabajada (%)	Longitud tramo Río Paraná
Norte	Confluencia Río Paraguay y Río Paraná	Goya-Reconquista	5.853	2.259	38,6	270 km
Centro	Goya-Reconquista	El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné	8.818	2.738	31,1	340 km
Sur	El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné	Diamante-Arocena	1.123	1.123	100,0	110 km
Total	Confluencia Río Paraguay y Río Paraná	Diamante-Arocena	15.794	6.120	38,7	720 km

Figura 2.15: Localización de los Tramos: Norte, Centro y Sur en el Río Paraná Medio.

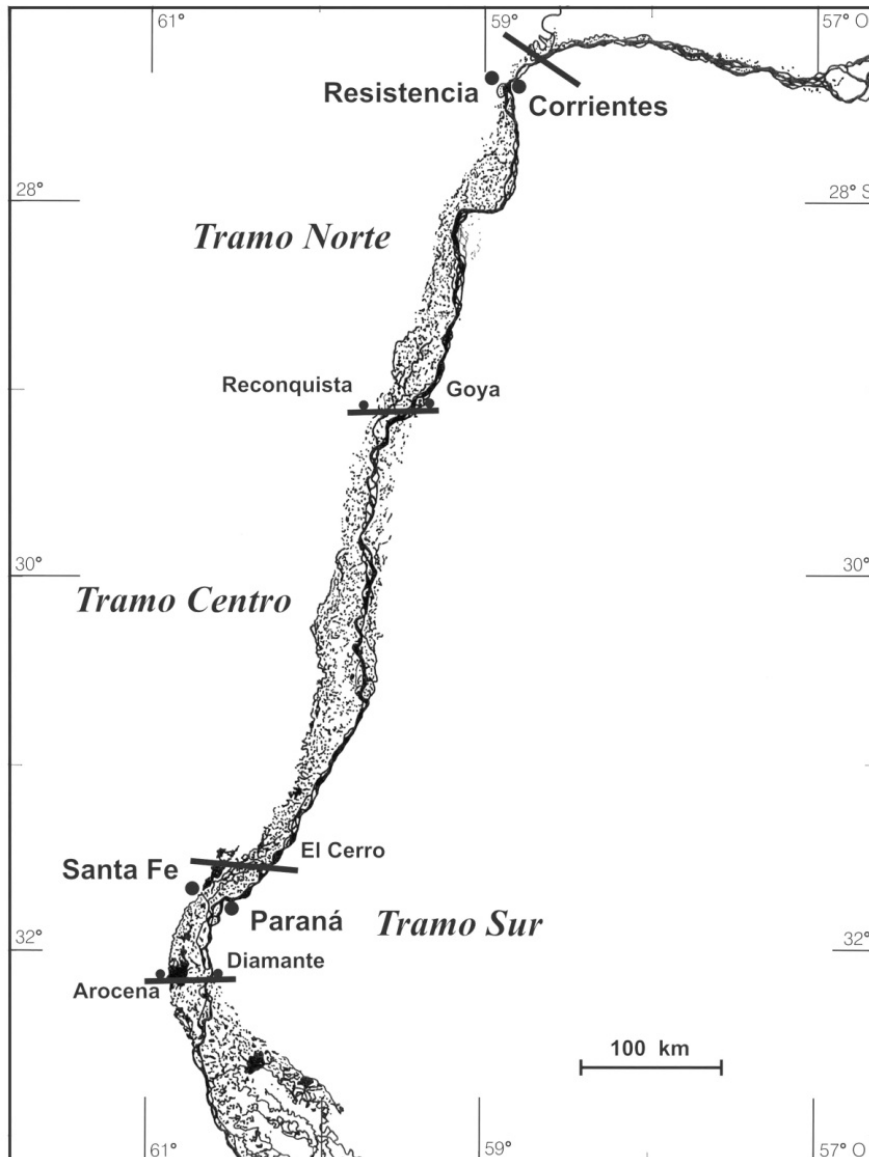
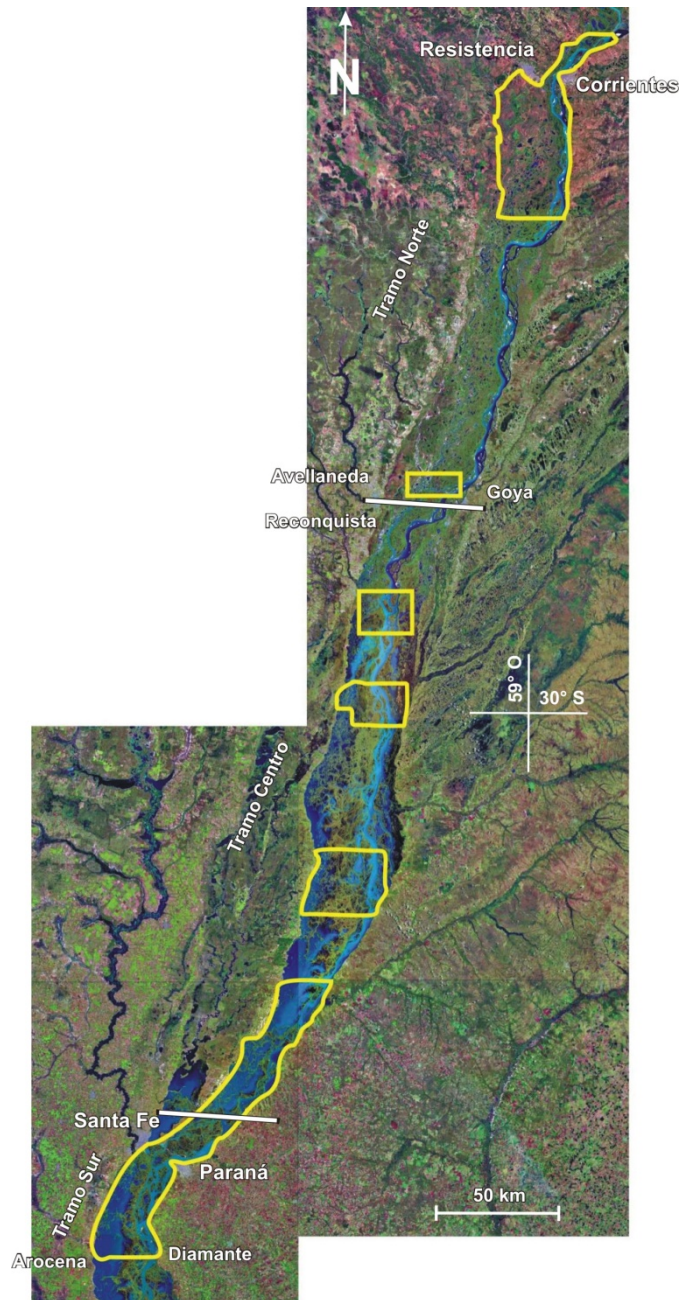


Figura 2.16: Localización de las áreas trabajadas en la llanura aluvial (marcadas con líneas amarillas), correspondientes a las fotografías aéreas de las décadas del '50 y '60 en la zona de estudio (llanura aluvial y cauce principal del río Paraná Medio).

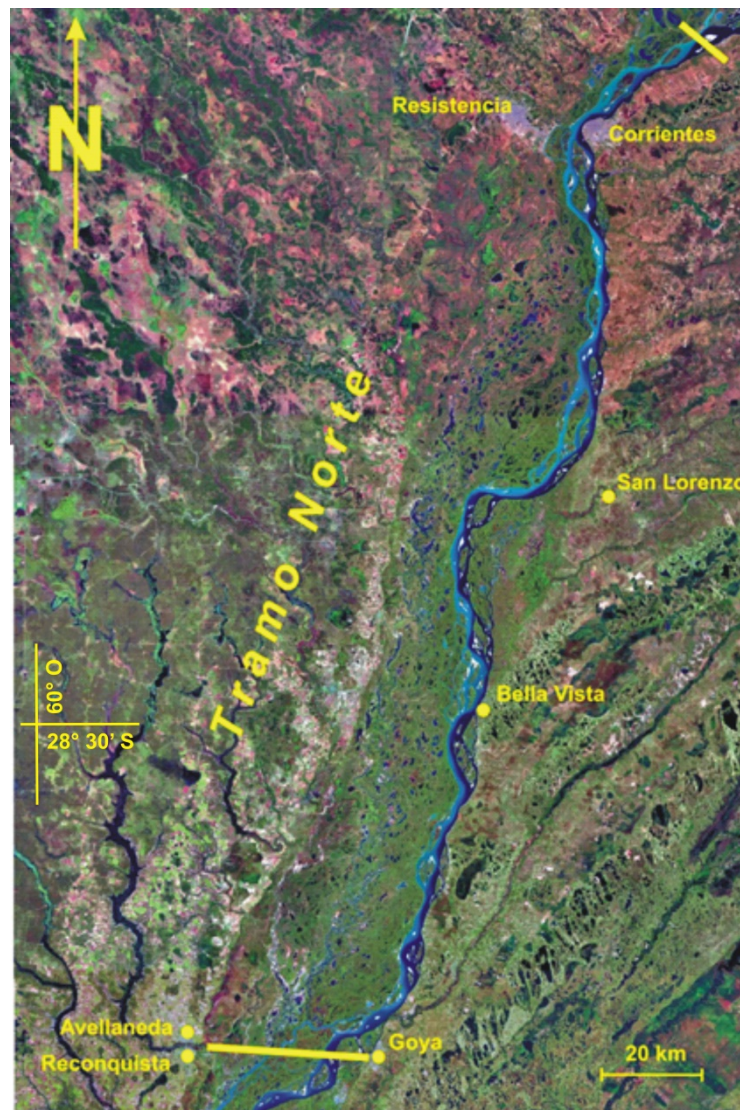


2.2.1. Tramo Norte (Confluencia hasta Goya)

Hacia el Sur de Corrientes-Resistencia el valle se ensancha rápidamente, pasando de los 20 km a los 30 km en casi 35 km hacia aguas abajo. En este tramo, puede observarse que el cauce principal del Río Paraná describe tres arcos, que van alternando su concavidad de Oeste a Este y nuevamente hacia el Oeste (Popolizio, 2003). Trabajando a escalas 1:1.000.000 y menores, se puede medir el primero de

ellos, desde Corrientes-Resistencia hasta el Sur de la localidad de San Lorenzo (Corrientes), con un radio de curvatura de 43 km aproximadamente y con la concavidad hacia el Oeste. El segundo arco, más pequeño, desde esta última localidad hasta Bella Vista (Corrientes), tiene un radio de curvatura de 19 km aproximadamente, pero con la concavidad hacia el Este y el tercero, entre Bella Vista y el Sur de Goya con un radio aún mayor, de 84 km aproximadamente y su concavidad nuevamente hacia el Oeste (Figura 2.17).

Figura 2.17: Localización del Tramo Norte en el Río Paraná Medio.

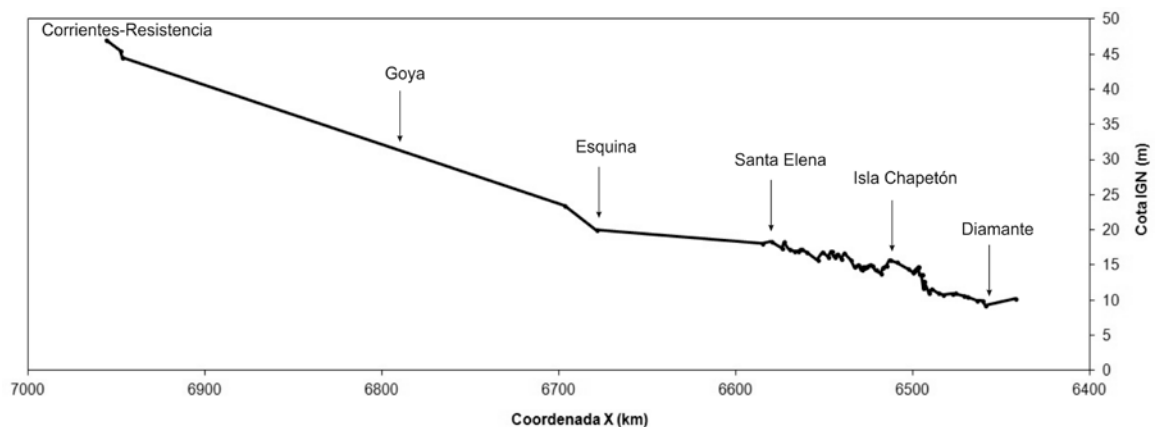


Desde Confluencia hasta aproximadamente la latitud de Goya, la planicie aluvial está recostada hacia Chaco y Santa Fe, pero el cauce principal sus brazos escurren sobre las riberas correntinas.

En la planicie de inundación del Tramo Norte prácticamente no existen puntos acotados, ya que en la carta topográfica del IGN de Corrientes (2760-30) solo se encuentran siete puntos acotados, con un rango de 44,5 m a 47 m (en la unidad geomorfológica de Terrazas; Iriondo, 2007) y continúa un vacío de puntos acotados hacia el Sur, hasta llegar a Goya (carta topográfica 2960-23). Es por ello que considerando aquellos puntos que se encuentran en el borde Este de la unidad geomorfológica de Terrazas en Resistencia y en la misma unidad en Reconquista (Bonetto y Wais, 1990) y más próximas al cauce principal, la diferencia de cotas IGN de la llanura aluvial es aproximadamente de 14-15 metros entre ellas. Este hecho, daría una pendiente longitudinal de $7,6 \times 10^{-5}$, considerando la zona central de la planicie aluvial. Este mismo cálculo, se puede corroborar en el perfil longitudinal generado en la Figura 2.18, trazando puntos acotados ubicados en una faja central siguiendo la planicie de inundación del Paraná desde Corrientes hasta Diamante. Con respecto a la pendiente transversal en el Sur de Corrientes-Resistencia, se calculó una pendiente transversal máxima de $1,7 \times 10^{-4}$ en sentido Oeste –Este (hacia el Río Paraná).

Iriondo (1988, 2007) y Paoli *et al.* (2000; Figura 2.6), en el mismo tramo del Paraná, calcularon pendientes en bloques tectónicos con valores de pendiente hidráulica de $4,45 \times 10^{-5}$ (primer bloque de 75 km) y de $5,80 \times 10^{-5}$ (bloque largo e inclinado de 150 km). Considerando estos dos bloques (que representarían el Tramo Norte), arrojaría un cálculo medio de la pendiente longitudinal de $5,13 \times 10^{-5}$.

Figura 2.18: Perfil longitudinal de la planicie de inundación del Río Paraná Medio desde Corrientes hasta Diamante siguiendo una línea imaginaria por el centro de la planicie con cotas IGN. Coordenada X (km): distancia desde el Polo Sur (Proyección Gauss-Krüger). Cota IGN (m): altura referida al nivel medio del mar (mareógrafo de Mar del Plata).



En el perfil hidráulico de Soldano (1947; Figura 2.19), donde se representó el “cero” de cada hidrómetro del Río Paraná, desde Confluencia hasta Rosario, se puede observar que con la diferencia de cotas de los “ceros” de las escalas hidrométricas de Corrientes y Goya de 12,5 m y con una distancia (siguiendo el canal de navegación del río) de 248 km, la pendiente hidráulica longitudinal resultaría de $5,0 \times 10^{-5}$.

Figura 2.19: Perfil hidráulico del Río Paraná entre Corrientes y Rosario. Fuente: Soldano, 1947.

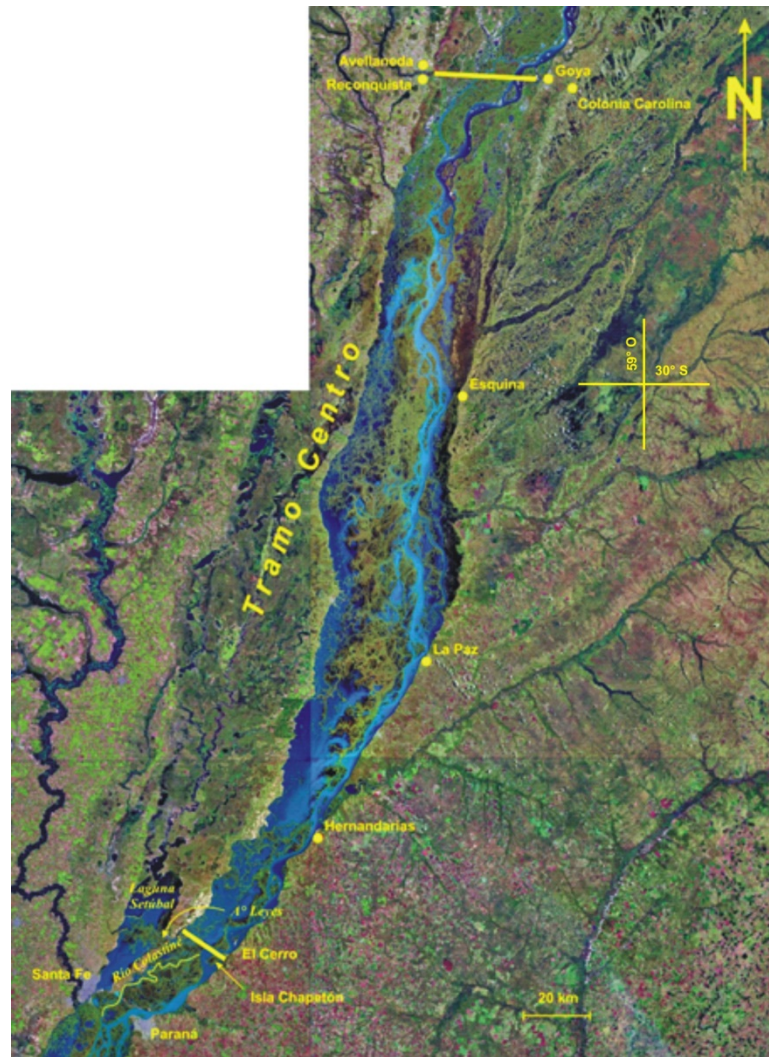


Comparando los tres cálculos de la pendiente longitudinal, en primer lugar de la planicie aluvial, en segundo lugar de los bloques tectónicos y por último la hidráulica, los valores serían: $7,6 \times 10^{-5}$, $5,13 \times 10^{-5}$ y $5,0 \times 10^{-5}$.

2.2.2. Tramo Centro (desde Goya hasta El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné)

Desde Goya al Sur, el cauce principal y sus brazos invierten su posición, alejándose hacia el Oeste en la planicie y dejando una vasta franja isleña en los Departamentos de Goya y Esquina en la Provincia de Corrientes (Figura 2.20).

Figura 2.20: Localización del Tramo Centro en el Río Paraná Medio.



En este derrotero hacia el Sur, el río repite un proceso semejante al del Sur de Empedrado con un quiebre de casi 90°, el cual lo llevaría a desplazarse todavía más hacia el Oeste de su posición actual. También existe un fuerte desnivel de unos 25 m entre Colonia Carolina (situada a 8 km al Este de Goya) y la planicie situada detrás de la ciudad de Goya, que correspondería a un paleo-valle del río Paraguay, reconocible a nivel topográfico. Llama la atención el estrechamiento de más de 30 km del valle aluvial que se va produciendo hacia aguas abajo desde Goya y casi 40 km entre Esquina y La Paz, y que llega muy rápidamente a unos 20 km de ancho a la latitud de Hernandarias (Popolizio, 2003).

En este tramo, puede observarse que el cauce principal del Río Paraná describe dos arcos, los cuales alternan su concavidad hacia el Este y luego al Oeste, separados por un tramo recto. El primero de ellos, desde Goya hasta Esquina, con un radio de curvatura de aproximadamente 85 km, con la concavidad hacia el Este. Luego le sigue un tramo recto de 50 km de longitud, que finaliza en la división política entre

las provincias de Corrientes y Entre Ríos. El segundo arco, más grande, desde este último punto hasta la ciudad de Paraná, con un radio de curvatura de 215 km aproximadamente, pero con la concavidad hacia el Oeste.

Al Sur de este Tramo Centro, en el límite con el Tramo Sur, Ramonell *et al.* (2000), citan que conviene hacer una mención general sobre la distribución y magnitud de las pendientes medias del terreno en este sector. Aquí, los declives tienen los mismos órdenes de inclinación que los referidos para las zonas insulares del cauce, aunque se destaca una interrupción o quiebre de pendiente singular en el sector del Arroyo Leyes, en donde la planicie modelada por el río Colastiné está a 1 m o más por encima de los niveles acotados al Norte de la misma (Figuras 2.21 y 2.22).

Figura 2.21: Ubicación del Arroyo Leyes, Río Colastiné y finalización del Tramo Centro y comienzo del Tramo Sur en la planicie aluvial del Río Paraná Medio.

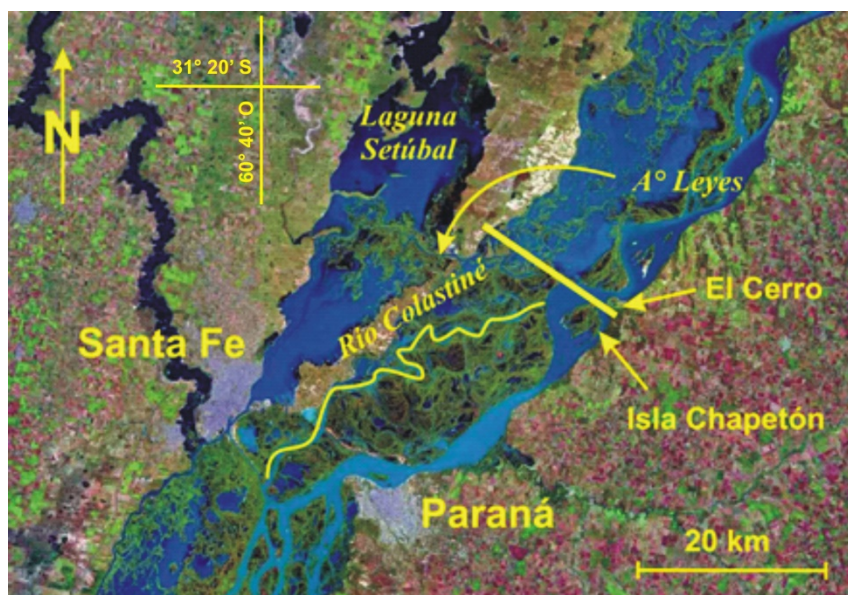
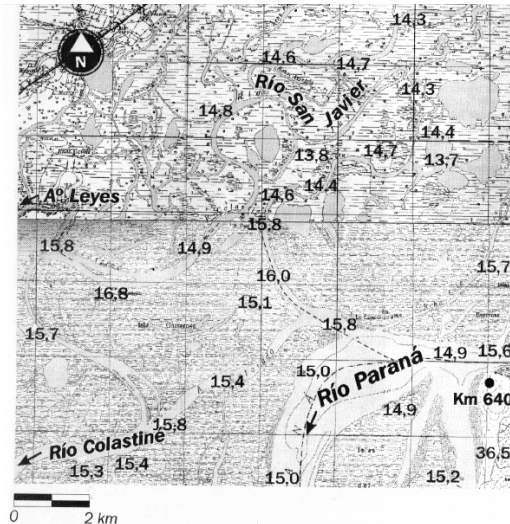
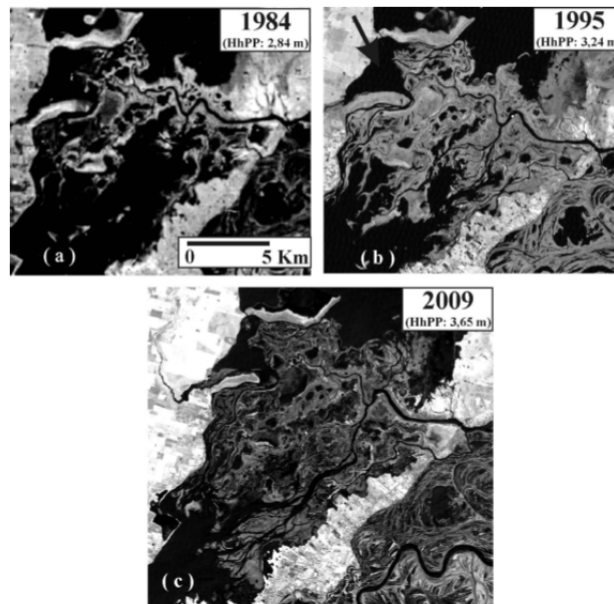


Figura 2.22: Mosaico topográfico de la planicie aluvial del Río Paraná en la zona de El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné (km 640) con las cartas topográficas 3160-27-1 y 3160-27-2 del IGN. Fuente: Ramonell *et al.*, 2000.



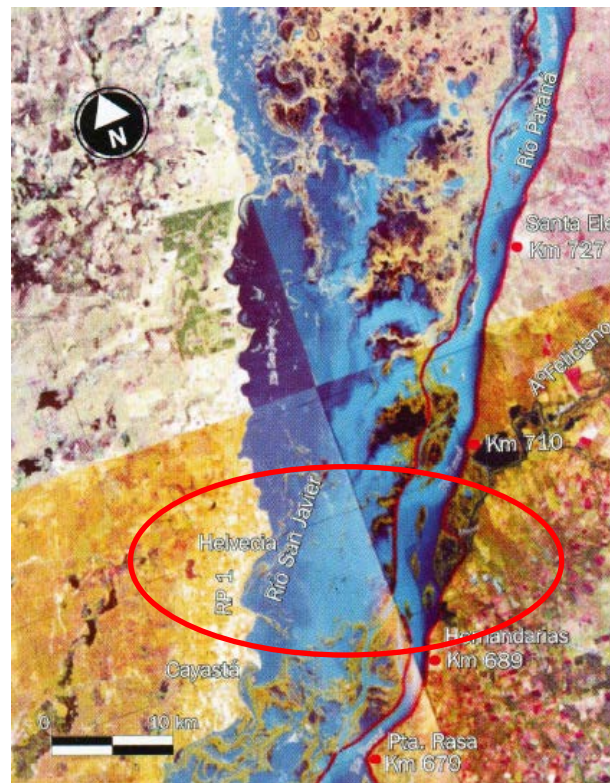
Estos autores resaltan a raíz de este quiebre en la pendiente longitudinal del valle de inundación, de 1 m o más, la importancia cada vez mayor del Arroyo Leyes y su delta “interno” en la Laguna Setúbal, con un avance del frente deltaico de 550 m/año desde 1983 (Figuras 2.22 y 2.23).

Figura 2.23: Expansión del delta del Arroyo Leyes, años 1984 – 2009. HhPP: alturas hidrométricas en el Puerto de Paraná. Fuente: Ramonell *et al.*, 2000.



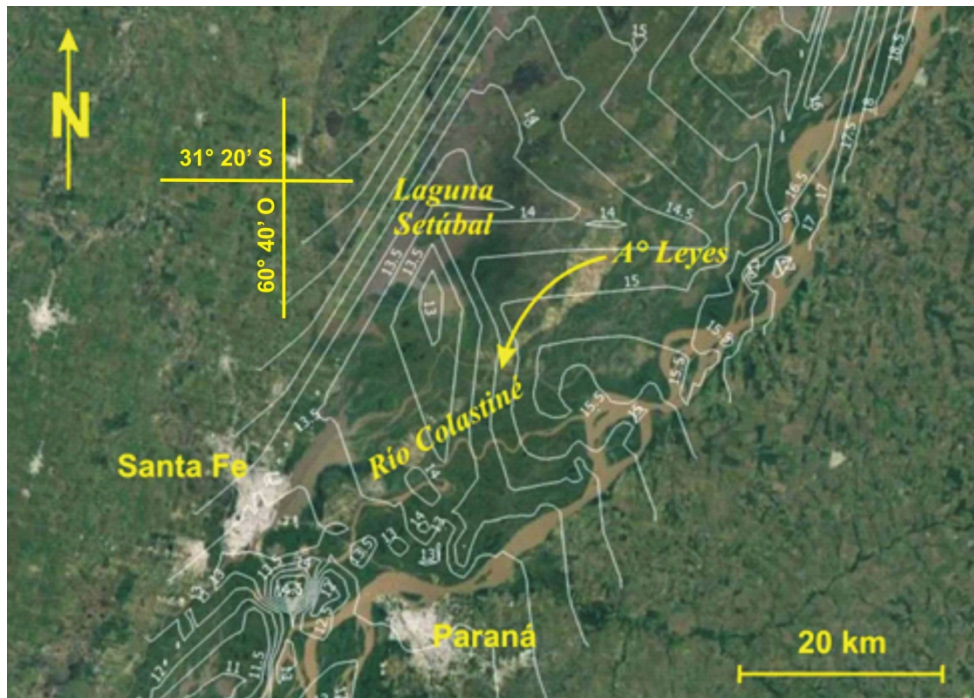
Además, Ramonell *et al.* (2000) también indican que existe otro resalto similar al Oeste del km 690 de la ruta de navegación del Río Paraná, en la sección transversal entre las ciudades de Hernandarias (Entre Ríos) y Cayastá (Santa Fe), (Figura 2.24).

Figura 2.24: Mosaico satelital de un tramo de la planicie aluvial del Río Paraná en la zona de las localidades de Santa Elena, Hernandarias, Helvecia y Cayastá (km 690). Fuente: Ramonell *et al.*, 2000.



Con respecto a las pendientes longitudinales, transversales y sus quiebres en este tramo Centro, sobre un total de 200 puntos acotados se generaron curvas de nivel con equidistancia de 0,5 m en donde se puede observar el resalto planteado por Ramonell *et al.* (2000). En el mapa se puede apreciar el resalto o quiebre de 1 m aproximadamente, tanto en sentido longitudinal como transversal siguiendo el Río Colastiné y el Arroyo Leyes. También se observan cotas mayores en el borde oriental con respecto al occidental de la planicie aluvial, en donde el cálculo de la pendiente transversal en sentido Este-Oeste resultó de $1,11 \times 10^{-4}$, siguiendo el eje de escurrimiento del Río Colastiné (Figura 2.25).

Figura 2.25: Curvas de nivel con equidistancia de 0,5 m, desde Goya hasta el Río Colastiné, generadas con el programa QGIS y cotas IGN de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



Iriondo (1988, 2007) y Paoli *et al.* (2000; Figura 2.6), han calculado para el bloque elevado y más inclinado, que comienza desde Goya hasta Esquina, con una longitud de 120 km, una pendiente hidráulica de $6,37 \times 10^{-5}$.

Siguiendo a Soldano (1947), en su perfil hidráulico desde Confluencia hasta Rosario (Figura 2.19), se calculó la pendiente hidráulica longitudinal desde el hidrómetro de Goya a Esquina, resultando de $7,0 \times 10^{-5}$.

La diferencia de cotas IGN en la llanura aluvial es de 17,3 metros aproximadamente, entre la sección Goya-Reconquista hasta el Río Colastiné, resultando una pendiente longitudinal de $6,1 \times 10^{-5}$ en la zona central de la planicie aluvial.

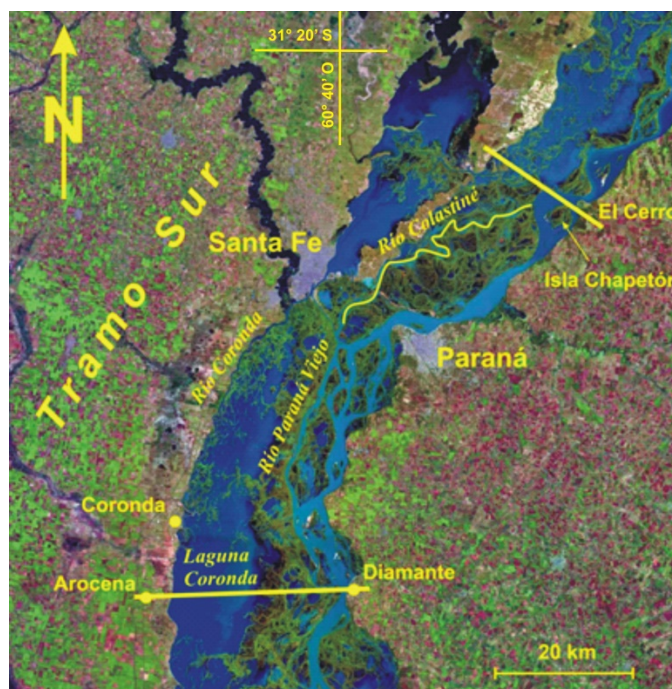
Comparando los tres cálculos de la pendiente longitudinal media, en primer lugar de la planicie aluvial desde Goya hasta el Río Colastiné, en segundo lugar del bloque tectónico y por último la hidráulica, los valores serían: $6,1 \times 10^{-5}$, $6,37 \times 10^{-5}$ y $7,0 \times 10^{-5}$, respectivamente.

Resulta claro que los resaltos en contrapendiente del perfil longitudinal del valle de inundación en el sector del Río Colastiné y Arroyo Leyes, modifican localmente el paisaje fluvial no solo por el desvío de caudal del cauce principal hacia la Laguna Setúbal, sino también por el estado divergente con atributos hidrológicos distintos que presentarían, los ambientes ubicados aguas arriba y aguas abajo de este resalto altimétrico, por ejemplo: Potamofase y Limnofase (Neiff, 1990), resultando conveniente esta área aluvial como el cierre del Tramo Centro.

2.2.3. Tramo Sur desde el Río Colastiné hasta Diamante

Popolizio (2003), describe que aguas abajo de la isla El Chapetón, el modelo cambia, definiéndose perfectamente el cauce principal, apoyado sobre la margen izquierda, de altas barrancas, originando un proceso de erosión en las mismas hasta la ciudad de Paraná. Por el Oeste se desarrolla un brazo muy importante, conocido como río Colastiné, que se encuentra interconectado con el cauce principal mediante cauces secundarios y lagunas, desarrollando un modelo meandriforme cuya profundidad aumenta aguas abajo hasta desembocar en el llamado Paraná Viejo. Además agrega que frente a las ciudades de Paraná y Santa Fe se produce, el máximo estrechamiento del valle fluvial, para luego ensancharse gradualmente de manera muy significativa y con forma de embudo, hasta llegar a la sección Rosario-Victoria con 60 km de ancho. La planicie fluvial, entre el citado estrechamiento y la ciudad de Diamante, presenta un modelo morfológico muy complejo, en donde el cauce principal se divide y se separa de las altas barrancas entrerrianas, transformándose en un canal navegable y otro no navegable, abandonado, conocido como “Paraná Viejo”, hasta el Km 570 de navegación. Sobre la margen derecha fluye el río Coronda, que circunda, junto con el “Paraná Viejo”, un área baja, con muchas lagunas y cauces serpenteantes o meandriformes tortuosos, presentando al finalizar este tramo Sur y distinguiéndose en la planicie fluvial, la gran Laguna Coronda (Figura 2.26).

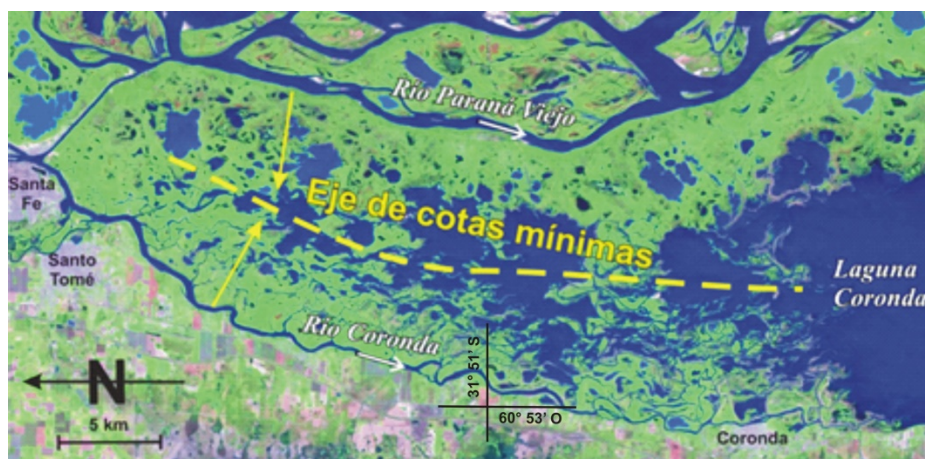
Figura 2.26: Localización del Tramo Sur en el Río Paraná Medio.



Observando este tramo a escalas 1:1.000.000 y menores, el Río Paraná forma un arco de circunferencia desde la ciudad de Paraná hasta Diamante de 25 km aproximadamente de radio de curvatura y con su concavidad hacia el Sureste.

La diferencia de cotas IGN de la llanura aluvial, entre las latitudes del Río Colastiné y la localidad de Diamante es de 6,6 m aproximadamente, lo que daría como resultado una pendiente longitudinal de $8,0 \times 10^{-5}$ (considerando el centro de la planicie aluvial). Con respecto a la pendiente transversal en este tramo, Ramonell *et al.* (2000) expresan resultados del orden de 10^{-4} , pero en mediciones realizadas entre el brazo Paraná Viejo y el Río Coronda, se constatan cotas más altas en los bordes oriental y occidental con relación a la faja central. Tal es así, que en el subtramo comprendido entre el Río Colastiné a la ciudad de Paraná (unidad geomorfológica de Llanura de Bancos; Iriondo, 2007), se calcularon pendientes transversales de $1,2 \times 10^{-4}$ y en la unidad geomorfológica contigua, denominada Llanura de Meandros (Iriondo, 2007) de $1,0 \times 10^{-5}$. Con respecto al subtramo conformado entre las ciudades de Paraná y Diamante y en la unidad geomorfológica de Deltas de Tributarios (Iriondo, 2007), las pendientes transversales son hacia el centro de la unidad (del río Coronda hacia la faja central) de $2,3 \times 10^{-4}$ y de $3,2 \times 10^{-4}$ (desde el “Paraná Viejo” hacia la faja central). Estos cálculos, confirman lo que se puede observar en las imágenes satelitales o fotografías aéreas, en donde existe un eje dispuesto equidistante a los cursos “Paraná Viejo” y Coronda que uniría las cotas mínimas, siguiendo una alineación en donde convergen los cauces secundarios menores en coincidencia con lo mencionado por los autores en Ramonell *et al.* (2000), (Figura 2.27).

Figura 2.27: Dirección de las pendientes transversales (flechas amarillas) hacia el centro de la unidad geomorfológica “Deltas de Tributarios” (Iriondo, 2007) en donde se encuentran las cotas mínimas formando el “Eje de cotas mínimas”.



En el perfil hidráulico realizado por Soldano (1947; Figura 2.19), se puede calcular la pendiente hidráulica longitudinal desde el hidrómetro de Paraná a Diamante de $4,7 \times 10^{-5}$ y siguiendo la clasificación de unidades geomorfológicas de Iriondo (2007), no se encuentra la Unidad Geomorfológica “Llanura de Drenaje Impedido”.

En la Tabla 2.5 se presentan a modo de resumen los cálculos realizados para cada tramo.

Tabla 2.5: Síntesis de las variables trabajadas para la selección de cada tramo en la planicie aluvial del Río Paraná Medio.

Tramo	Diferencia de cotas entre inicio y final del tramo	Pendiente media de bloques tectónicos (Iriondo, 2007)	Pendiente hidráulica (Soldano, 1947)	Pendiente longitudinal de la planicie aluvial	Unidad geomorfológica ausente (Iriondo, 2007)
Norte	14,5 m	$5,13 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$7,6 \times 10^{-5}$	Llanura de Meandros
Centro	17,3 m	$6,37 \times 10^{-5}$	$7,0 \times 10^{-5}$	$6,1 \times 10^{-5}$	Terrazas (10,5 % de la superficie total del tramo).
Sur	6,6 m	-.-	$4,7 \times 10^{-5}$	$8,0 \times 10^{-5}$	Llanura Drenaje Impedido

2.3. Alcances de los resultados

Cabe aclarar, que los valores cuantitativos presentados se refieren sólo a las áreas medidas de planicie aluvial en cada uno de los tramos, Norte, Centro y Sur, considerados. La selección de esos tramos, como se explica en este capítulo, se basa en criterios principalmente topográficos, luego geomorfológicos y por último geológicos que caracterizan a cada uno de ellos en un momento dado de la historia contemporánea del sistema.

Dentro de esa globalidad se superponen particularidades fisiográficas propias de cada tramo, incluyendo los impactos humanos, que en conjunto, dan cuenta de la complejidad del sistema en estudio. Dentro de este contexto, las zonas medidas que se presentan en los Capítulos 2, 4, 5, 6 y 7 y, los resultados surgidos de los análisis realizados en ellas, deben concebirse sólo como una aproximación a la comprensión de los rasgos y procesos que caracterizan esa complejidad. Si bien en algunos casos se presentan comparaciones de resultados entre tramos de diversos parámetros, se

decidió introducirlas dado su compatibilidad con conclusiones publicadas por otros autores y sin intención de generalizaciones incompatibles con las limitadas escalas espaciales y temporales cubiertas con los datos disponibles. En conjunto, se considera que lo realizado implica, sin embargo, un aporte no menor al conocimiento en la temática de la tesis que puede servir de base a futuros estudios de similar índole del presentado aquí pero con resultados generalizables a la planicie completa del río Paraná en su tramo medio, uno de los mayores humedales del mundo.

Capítulo 3: Fuentes documentales y técnicas – Tratamientos efectuados

3.1. Material y métodos

Popolizio y Canoba (1986), definen tres tipos de fotointérpretes: el generalista, el integrador y el especialista y según el nivel de la aplicación: regional, zonal o local para la realización de estudios geomorfológicos de la llanura argentina. Además, formulan las escalas óptimas para la representación cartográfica, utilizando sensores remotos a nivel taxonómico regional, la escala conveniente sería menor o igual a 1:100.000, zonal de 1:100.000 hasta 1:25.000 y local, mayor o igual a 1:10.000.

Ellis y Woitowich (1989), dividen a las aplicaciones de la teledetección para estudios en sistemas fluviales, en tres categorías según la escala, una es con datos a pequeña escala (desde 1:500.000 a 1:1.000.000, muy utilizados en proyectos regionales), la segunda categoría es con datos a escala media (desde 1:15.000 a 1:60.000, trabajos de rango intermedio), y la última es con datos a gran escala (desde 1:1.000 a 1:20.000, muy usados para investigaciones en lugares o sitios específicos).

Las fotografías aéreas analógicas y digitales siguen siendo muy utilizadas en el estudio de los ríos y sus llanuras aluviales; el tamaño y ubicación de los bancos de arena, control estructural del río, cambio del diseño en planta de los cauces, concentraciones de sedimentos, y variaciones estacionales de la vegetación en bancos y riberas, o cambios en la vegetación de la llanura aluvial debido a inundaciones.

La topografía de las llanuras aluviales presenta, en la observación estereoscópica, una superficie plana, muy llana, con pequeños desniveles de los márgenes o albardones con respecto a los cauces y cuerpos de agua. Con respecto a su dinámica, se observa que su sistema de drenaje está compuesto por cauces permanentes o temporarios, de distinta jerarquía en caudal. Además, pueden detectarse cortes de tributarios que escurren durante una considerable distancia a través de la llanura, hasta conectarse finalmente a la corriente principal, como por ejemplo el río Corrientes. En aguas medias y bajas, se observan también, rasgos o líneas de drenaje que constituyen cárcavas de erosión. Los tonos que se presentan en las fotos son complejos, se observan reflejos debido a la variedad de suelos o por la humedad de los mismos. Los bancos de arena pueden presentar tonos luminosos, alternados con tonos más oscuros debido a las depresiones del terreno. Generalmente, las aguas corrientes tienen un tono más claro, y las lagunas, a veces con un tono más oscuro, con evidencias de drenaje o conexiones. Las lagunas tienen

generalmente un tono gris uniforme debido al agua retenida con sedimentos. El tono más oscuro aparece si contienen materia orgánica en el fondo o si se encuentran aisladas. La vegetación puede cubrir la parte terrestre de la llanura aluvial o la zona de transición acuática-terrestre (árboles, arbustos y gramíneas), en tanto que la vegetación acuática y palustre puede cubrir total o parcialmente no sólo las lagunas, sino también algunos cauces de menor jerarquía. Los bancos de arena (muy móviles) se presentan libres de vegetación o áridos (Lillesand y Kiefer, 1994).

Dos factores importantes afectan la definición del perímetro lagunar, uno, son las aguas altas y el otro, es la presencia de vegetación acuática. Por ejemplo, en las temporadas de aguas altas, cuando los cauces llevan más caudal, los límites de las lagunas son sobrepasados dificultando la identificación de los perímetros; ocurre también con la presencia de vegetación acuática litoral cuando comienza a descender el nivel hidrométrico y parte de las macrófitas quedan retenidas fuera del cuerpo de agua.

Los parámetros morfométricos de las lagunas (área superficial, perímetro lagunar, longitud máxima, ancho máximo y fetch) y bióticos (superficie de la cobertura de la vegetación acuática en la superficie lagunar, el perímetro lagunar ocupado por árboles y arbustos), fueron medidos directamente sobre las fotografías empleando escalímetros, curvímetros y planímetro polar (medición de superficies).

Con respecto a las variables o condiciones de conectividad hidrológica (cantidad de tributarios y/o emisarios de cada laguna, el grado y tipo de conexión lagunar y en la diferenciación de la vegetación acuática, palustre y terrestre) se realizó la fotointerpretación trabajando con pares estereoscópicos de fotografías aéreas.

Las mediciones, también hubieran sido factibles realizarlas con nuevas herramientas, como los programas informáticos o softwares para medición y cálculo, pero se prefirieron los métodos clásicos de fotointerpretación debido en primer lugar, al soporte en papel en que se encontraba el grueso de la información y en segundo lugar, por la correcta interpretación de las variables de conectividad detalladas en el párrafo anterior. La visión estereoscópica para diferenciar el tipo de vegetación (acuática, palustre y terrestre) a través de la altura, por la diferencia de textura y tamaño del grano en las fotografías, resultan claves para su correcta identificación. Similar apreciación merece lo relacionado con las conexiones lótico-leníticas, que sin la visión estereoscópica resultaría dificultoso o casi imposible establecerlas.

En función de la extensa revisión bibliográfica, por ser un trabajo zonal (Popolizio y Canoba, 1986), a escala media (Ellis y Weitowich, 1989) y siguiendo las

estrategias en fotointerpretación (Lillesand y Kiefer, 1994), esta tesis fue orientada empleando métodos visuales (según el plan de tesis aprobado), con técnicas tradicionales en la interpretación de imágenes.

En función de los objetivos de la Tesis se orientó el proceso de análisis sobre 1.500 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio y de las islas del cauce principal utilizando 472 fotografías aéreas, con escalas 1:50.000, 1:45.000, 1:35.000 y 1:20.000, con fechas de vuelo 1954, 1958, 1962, 1964, 1968 y 1973, donde el 85,2 % de las fotografías fueron tomadas en los años 1954 y 1958 (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Fotografías aéreas trabajadas en el desarrollo de la tesis.

Año de vuelo	Escala	Número de aerofotografías	%
1954	1:45.000	250	53,0
1958	1:50.000	152	32,2
1962	1:35.000	41	8,7
1964	1:45.000	8	1,7
1968	1:20.000	20	4,2
1973	1:20.000	1	0,2
Total		472	100,0

Las fotografías aéreas corresponden a vuelos realizados por la ex Secretaría de Guerra (Instituto Geográfico Militar), las cuales no cuentan con las fechas exactas de las mismas (día y mes). Cabe aclarar que se han realizado consultas al IGN, a la Fuerza Aérea Argentina, a las Bibliotecas del Congreso de la Nación y del Ministerio de Economía, sin encontrar un archivo o datos al respecto.

De acuerdo al análisis visual realizado por comparación con fotografías más actuales, se ha podido establecer que corresponden a un nivel hidrométrico de aguas medias y bajas del Paraná. Este estado hidrológico permite la observación de los grados de conexión entre los cuerpos de agua fluviales y lagunares en el estado medio del sistema y en donde los cursos de agua presentan su caudal dominante.

Como material cartográfico de base y de consulta se utilizaron las cartas topográficas y las cartas satelitales también del IGN, del Servicio de Catastro e Información Territorial de la Provincia de Santa Fe y las cartas de navegación del Servicio de Hidrografía Naval. También se utilizaron como material de consulta imágenes satelitales Landsat de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales y mosaicos semicontrolados de la ex - Agua y Energía Eléctrica (Proyecto Paraná

Medio).

Las fotografías utilizadas fueron analizadas con estereoscopio de espejos y de bolsillo del Instituto Nacional de Limnología (INALI, CONICET-UNL). Las fotografías aéreas verticales y oblicuas fueron escaneadas en el Departamento de Cartografía y Agrimensura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH - UNL) y en el Laboratorio de Hidroecología del INALI (CONICET-UNL).

Se utilizó un sistema de información geográfica (QGIS v. 2.14.3), generando una base de datos de puntos acotados IGN (Instituto Geográfico Nacional) tomados de las cartas topográficas a escalas 1:100.000 y 1:50.000. A través del SIG se generaron aplicaciones cartográficas de isolíneas y de puntos (Bernavé Poveda, 2002) relacionadas principalmente, con la planialtimetría a distintas escalas y equidistancias.

3.1.1. Fotografías aéreas

Para las fotografías aéreas se indican: a) fecha de toma; b) escala; c) zona del vuelo; d) tramo de la llanura aluvial; e) recorrido del vuelo; f) número de fotografía y e) nivel hidrométrico del Río Paraná registrado en el hidrómetro de la ciudad de Corrientes (Corrientes), Empedrado (Corrientes) o del Puerto de Paraná (Entre Ríos) según corresponda. Este material fue ordenado de Norte a Sur.

- 1962; 1:35.000; Asunción – Confluencia; Isla Cerrito – Paso de La Patria; B79-417; 1306, 1307, 1308, 1309, 1310, 1311, 1312, 1313, 1314; Nh promedio anual Corrientes = 2,70 m.
- 1962; 1:35.000; Asunción – Confluencia; Isla Cerrito – Paso de La Patria; B80-419; 1316, 1317, 1318, 1319, 1320, 1321, 1322, 1323, 1324, 1325, 1326, 1327; Nh promedio anual Corrientes = 2,70 m.
- 1962; 1:35.000; Asunción – Confluencia; Corrientes – Riacho Iné; C81-421; 1354, 1355, 1356, 1357, 1358, 1359, 1360, 1361, 1362, 1363; Nh promedio anual Corrientes = 2,70 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – Corrientes; Corrientes – Río Tragadero; C82-435; 0891, 0892, 0893, 0894, 0895, 0896; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1962; 1:35.000; Corrientes – Aeropuerto de Caambá – Punta; Corrientes – Resistencia; C83-423; 1378, 1379, 1380, 1381, 1382, 1383, 1384, 1385, 1386, 1387; Nh promedio anual Corrientes = 2,70 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – Corrientes; ciudad de Corrientes al Sur; C84-437; 9891, 9892, 9893, 9894, 9895, 9896, 9897, 9898, 9899, 9899bis, 9900, 9901, 9902, 9903, 9904, 9905; Nh promedio anual Corrientes = 3,59 m.

- 1958; 1:50.000; Empedrado – Corrientes; ciudad de Corrientes al Sur; C85-439; 9906, 9907, 9908, 9909, 9910, 9911, 9912, 9913, 9914, 9915, 9916, 9917, 9918; Nh promedio anual Corrientes = 3,59 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – ciudad de Corrientes; Colonia Nueva Valencia (N); C86-446; 9988, 9989, 9990, 9991, 9992, 9993, 9994, 9995, 9996, 9997, 9998, 9999, 0000, 0001, 0002, 0003; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – ciudad de Corrientes; Colonia Nueva Valencia (S); C87-445; 0055, 0056, 0057, 0058, 0059, 0060, 0061, 0062, 0063, 0064, 0065, 0066, 0067, 0068; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – ciudad de Corrientes; El Sombrero (N); C88-447; 0116, 0117, 0118, 0119, 0120, 0121, 0122, 0123, 0124, 0125, 0126, 0127, 0128; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – ciudad de Corrientes; El Sombrero (S); C89-449; 0183, 0184, 0185, 0186, 0187, 0188, 0189, 0190, 0191, 0192, 0193, 0194, 0195, 0196; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – ciudad de Corrientes; Manuel Derqui (N); C90-451; 0197, 0198, 0199, 0200, 0201, 0202, 0203, 0204, 0205, 0206, 0207, 0208; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado – ciudad de Corrientes; Manuel Derqui (S); C91-453; 0263, 0264, 0265, 0266, 0267, 0268, 0269, 0270, 0271, 0272, 0273, 0274, 0275; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado (N); zona aguas arriba de Empedrado; C92-455; 0276, 0277, 0278, 0279, 0280, 0281, 0282, 0283, 0284, 0285, 0286, 0287, 0288, 0289; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado; Empedrado(S); C93-457; 0995, 0996, 0997, 0998, 0999, 1000; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1958; 1:50.000; Empedrado (S); zona de Empedrado – Paralelo 28°; C94-459; 0346, 0347, 0348, 0349, 0350, 0351, 0352, 0353, 0354, 0355, 0356, 0357, 0358, 0359, 0360; Nh promedio anual Empedrado = 3,11 m.
- 1964; 1:45.000; entre Empedrado y Hernandarias; Leguizamón; C95-64; 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397; Nh promedio anual Paraná = 1,45 m.
- 1954; 1:45.000; entre Empedrado y Hernandarias; Leguizamón; C96-63; 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1957; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; Piedras Blancas; C97-62; 356, 358, 360, 361, 362, 363, 364; Nh promedio anual Paraná = 3,48 m.
- 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; al Norte de Hernandarias; C98-61;

- 623, 624, 625, 626, 628, 630; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; al Sur de Hernandarias; C99-60; 652, 654, 656, 657, 658, 659, 660, 661; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; Hernandarias (S); C-100-59; 305, 307, 309, 310, 311, 313, 315; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; al Norte de Brugo (Entre Ríos); C101-58; 286, 287, 288, 289, 291, 293; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; Brugo; C102-57; 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; Brugo (S); C103-56; 243, 344, 245, 246, 247; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; pueblo San Martín; C104-55; 188, 189, 190, 191, 192; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; entre San Martín y Villa Urquiza; C105-54; 174, 175, 176, 177, 178; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; entre San Martín y Villa Urquiza; C106-53; 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza; río Colastiné; C107-10; 345, 346, 411, 412, 413, 416; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza; río Colastiné; C108-11; 424; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Leguizamón; Villa Urquiza; C109-52; 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Paraná; Paraná; C110-51; 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Villa Urquiza – Paraná; Paraná; C111-49bis-50; 907, 909, 910, 911, 107; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Santa Fe – Villa Urquiza; C112-14; 534, 536, 538, 546; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Paraná – Islas Carabajal y Sirgadero; C113-9; 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Paraná – Islas Carabajal y Sirgadero; C114-8; 359, 360, 361, 362, 365, 366, 370, 371, 372; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
 - 1954; 1:45.000; Paraná – Aeropuerto de Sauce Viejo; C115-7; 338, 339, 341, 343,

345, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.

- 1954; 1:45.000; Sauce Viejo; Isla Malú – Riacho Las Ánimas; C116-5; 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 313, 315; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:45.000; Santa Fe; Desvío Arijón; C117-4; 279; 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:45.000; Entre Ríos; Aldea Brasileira; C117bis-1; 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:45.000; Puerto Gaboto – Santa Fe; Coronda – Gral. Alvear; C118-3; 253, 255, 256, 257, 258, 260, 262; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:45.000; Alvear – Aldea San Francisco (Entre Ríos); C-119-1; 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:45.000; Puerto Gaboto – Santa Fe; Coronda; C120-2; 241, 242, 243, 244, 245, 246; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:50.000; Puerto Gaboto – Santa Fe; aguas arriba de Diamante; C121-718; 1048, 1049, 1050, 1051, 1052, 1053, 1054, 1055; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:50.000; Puerto Gaboto – Santa Fe; Diamante; C122-37; 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:50.000; Puerto Gaboto – Santa Fe; Diamante; C124-35; 438; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 1954; 1:50.000; Laguna Coronda; C129-36; 454, 455, 456, 457; Nh promedio anual Paraná = 2,60 m.
- 18 de octubre 1968; 1:20.000; Riacho Santa Fe – Río Coronda, Islas Los Mellados, Boquerón; R2; 3, 4, 5, 6, 7, 8; Nh Paraná = 1,17 m.
- 18 de octubre 1968; 1:20.000; Isla Pesquerías, Riacho Santa Fe; R3; 14, 17; Nh Paraná = 1,17 m.
- 18 de octubre 1968; 1:20.000; Islas Cañas, Sirgadero, La Guardia, Tiradero Viejo, Río Colastiné; R4; 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 17, 18, 19; Nh Paraná = 1,17 m.
- 05 de setiembre 1973; 1:20.000; Río Coronda; BR22; 216; Nh Paraná = 2,79 m.

3.1.2. Material cartográfico de base y consulta

Para el material cartográfico de base se indica: a) año de edición; b) autor; c)

nombre de la carta; d) hoja número; e) escala.

- 1949; Instituto Geográfico Militar (IGM); Carta Topográfica Diamante, Hoja 3360-2-2; 1:50.000.
- 1949; IGM; Carta Topográfica Diamante Sur, Hoja 3360-2-4; 1:50.000.
- 1950; IGM; Carta Topográfica Paraná, Hoja 3160-32-2; 1:50.000.
- 1959; IGM; Carta Topográfica Recreo, Hoja 3160-26-2; 1:50.000.
- 1961; IGM; Carta Topográfica Helvecia, Hoja 3160-21-2; 1:50.000.
- 1961; IGM; Carta Topográfica La Paz, Hoja 3160-16-2; 1:50.000.
- 1963; IGM; Carta Topográfica Saladero Cabal, Hoja 3160-15-4; 1:50.000.
- 1963; IGM; Carta Topográfica Santa Rosa, Hoja 3160-27-1; 1:50.000.
- 1963; IGM; Carta Topográfica Villa Urquiza, Hoja 3160-27-3; 1:50.000.
- 1963; IGM; Carta Topográfica Santa Fe, Hoja 3160-26-4; 1:50.000.
- 1963; IGM; Carta Topográfica Arocena, Hoja 3360-2-1; 1:50.000.
- 1964; IGM; Carta Topográfica Cayastá, Hoja 3160-21-4; 1:50.000.
- 1967; IGM; Carta Topográfica San Benito, Hoja 3160-33-1; 1:50.000.
- 1968; IGM; Carta Topográfica Santo Tomé, Hoja 3160-26-3; 1:50.000.
- 1968; IGM; Carta Topográfica Gobernador Racedo, Hoja 3160-27-4; 1:50.000.
- 1969; IGM; Carta Topográfica Pueblo Brugo, Hoja 3160-27-2; 1:50.000.
- 1969; IGM; Carta Topográfica Aldea Valle María, Hoja 3160-32-4; 1:50.000.
- 1969; IGM; Carta Topográfica Coronada, Hoja 3160-32-3; 1:50.000.
- 1986; IGM; Carta Topográfica Aerodromo Sauce Viejo, Hoja 3160-32-1; 1:50.000.
- 1944; IGM; Carta Topográfica Bella Vista; Hoja 2960-11; 1:100.000.
- 1944; IGM; Carta Topográfica Santa Lucía; Hoja 2960-17; 1:100.000.
- 1944; IGM; Carta Topográfica Helvecia; Hoja 3160-21; 1:100.000.
- 1945; IGM; Carta Topográfica Esquina; Hoja 3160-4; 1:100.000.
- 1945; IGM; Carta Topográfica San Javier; Hoja 3160-10; 1:100.000.
- 1945; IGM; Carta Topográfica Goya; Hoja 2960-23; 1:100.000.
- 1946; IGM; Carta Topográfica Corrientes; Hoja 2760-30; 1:100.000.
- 1948; IGM; Carta Topográfica Alejandra; Hoja 2960-34; 1:100.000.
- 1948; IGM; Carta Topográfica Paraná; Hoja 3160-32; 1:100.000.
- 1948; IGM; Carta Topográfica Diamante, Hoja 3360-2; 1:100.000.
- 1949; IGM; Carta Topográfica hernandarias; Hoja 3160-22; 1:100.000.
- 1952; IGM; Carta Topográfica La Paz; Hoja 3160-16; 1:100.000.
- 1958; IGM; Carta Topográfica Villa Urquiza; Hoja 3160-27; 1:100.000.
- 1997; IGM; Carta imagen satelitaria Santa Fe; 3160-III; 1:250.000.

- 1997; IGM; Carta imagen satelitaria Rosario; 3360-I; 1:250.000.
- 1997; IGM; Carta imagen satelitaria Villaguay; 3160-IV; 1:250.000.
- 1997; IGM; Carta imagen satelitaria San Nicolás de los Arroyos; 3360-III; 1:250.000.
- 1998; IGM; Carta de imagen satelitaria Corrientes; 2760-IV; 1:250.000.
- 1966; IGM; Carta Provisional Santa Fe, Hoja 3160; 1:500.000.
- 1968; IGM; Carta Provisional Rosario, Hoja 3360; 1:500.000.
- 1969; IGM; Carta Provisional Goya, Hoja 2960; 1:500.000.
- 1970; IGM; Carta Provisional Corrientes, Hoja 2760; 1:500.000.
- 1968; Servicio de Hidrografía Naval; Croquis y actualizaciones de los ríos. Parte 1: Río Paraná y Parte 2: Río Paraná de Las Palmas; láminas 1 a 61; 1:50.000.
- 1994; Servicio de Catastro e Información Territorial de la Provincia de Santa Fe; Carta Imagen Satelitaria Paraná, 3160-32-2; 1:50.000.
- 2000; Servicio de Catastro e Información Territorial de la Provincia de Santa Fe; Carta Imagen Satelitaria Santa Fe-Paraná; 1:20.000.

3.1.3. Imágenes satelitarias Landsat

Para las imágenes satelitarias Landsat a escala 1:500.000 de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales se indican: a) fecha de captura de la imagen; b) coordenadas del centro de la imagen; c) sensor y bandas; d) soporte y e) nivel hidrométrico del Río Paraná registrado en el hidrómetro de la ciudad de Corrientes (Corrientes) o del Puerto de Paraná (Entre Ríos). Este material fue ordenado de Norte a Sur.

Imágenes satelitarias Landsat en aguas bajas:

- 26/11/1981; 27° 20' S y 59° 19' O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Corrientes = 2,86 m.
- 08/11/1981; 28° 46' S y 59° 46' O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Corrientes = 2,91 m.
- 08/11/1981; 30° 13' S y 60° 07' O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Paraná = 2,03 m.
- 08/11/1981; 31° 38' S y 60° 31' O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Paraná = 2,03 m.
- 26/11/1981; 27° 20' S y 59° 19' O; MSS 7; papel; Nh Corrientes = 2,86 m.
- 08/11/1981; 28° 46' S y 59° 46' O; MSS 7; papel; Nh Corrientes = 2,91 m.
- 08/11/1981; 30° 13' S y 60° 07' O; MSS 7; papel; Nh Paraná = 2,03 m.
- 08/11/1981; 31° 38' S y 60° 31' O; MSS 7; papel; Nh Paraná = 2,03 m.

Imágenes satelitarias Landsat en aguas altas:

- 26/10/1983; 27° 20' S y 58° 24' O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Corrientes = 6,45 m.
- 26/10/1983; 28° 46' S y 58° 46' O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Corrientes = 6,45 m.
- 01/10/1983; 28° 46' S y 60° 21' O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Corrientes = 6,83 m.

- 26/10/1983; 30° 13´ S y 59° 08´ O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Paraná = 5,19 m.
- 26/10/1983; 31° 38´ S y 59° 31´ O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Paraná = 5,19 m.
- 01/10/1983; 31° 38´ S y 61° 06´ O; MSS 4, 5, 7; papel; Nh Paraná = 4,38 m.

3.1.4. Mosaicos semicontrolados

Para los mosaicos semicontrolados de Agua y Energía Eléctrica se indican: a) escala aproximada; b) división de la zona y c) subdivisión. Este material fue ordenado según la división de Norte a Sur.

- 1:20.000; 7; 3, 4.
- 1:20.000; 20; 1, 2, 3, 4.
- 1:20.000; 29; 2.
- 1:20.000; 30; 1, 3, 4.
- 1:20.000; 35; 2.
- 1:20.000; 50; 1, 2, 3, 4.
- 1:20.000; 51; 1, 3.

3.1.5. Trabajo de campo

Se participó de las campañas de muestreos limnológicos programadas en los proyectos de investigación durante más de 35 años del Instituto Nacional de Limnología (INALI) para obtener información de campo, empleando las embarcaciones, equipos e instrumental de este Instituto.

Se efectuó un vuelo a baja altura (a 300 m de altitud aproximadamente) en un avión Piper Cherokee PA 235 en una zona comprendida en los Tramos Centro y Sur del área de estudio y sobre las islas: Los Chepes, La Víbora, del Caballo, del Tragadero, de Las Arañas, Las Ánimas, Malú, Pampero, La Paciencia, Lynch, Boquerón, Los Mellados, Sirgadero, Pesquerías, Cañas, Carabajal, Berduc, Timbó, Mamajué, Santa Cándida y El Ombú, encontrándose el río Paraná con un nivel hidrométrico de 1,84 m (escala del Puerto de Paraná).

El objetivo fue la adquisición de información visual sobre los tipos de cuerpos de agua, tipos de conexión fluvial y toma de fotografías oblicuas, como complemento de los trabajos de campo y gabinete.

3.1.6. Parámetros estudiados

Los parámetros morfométricos y morfológicos principales y sus relaciones con

el origen han sido largamente desarrollados desde hace muchos años (Forel, 1892; Delebleque, 1898; Collet, 1925; Hutchinson, 1957; Håkanson, 1981 y Timms, 1992; entre otros) y esto es debido a que las dimensiones físicas de un cuerpo de agua es el resultado, tanto de los procesos que lo originaron, como de su posterior evolución en el tiempo. Se han trabajado con los parámetros o atributos relacionados con el tamaño, como son el área, el perímetro, la longitud máxima, fetch, ancho máximo y profundidad máxima; variables o índices de relación (ancho medio, relación longitud/ancho, índice de desarrollo de la línea de costa y profundidad relativa), que permiten hacer comparaciones de formas de lagunas; atributos hidrológicos, como la cantidad de tributarios/emisarios de cada laguna y sus distancias al cauce principal y secundarios e inferir la conectividad; atributos biológicos relacionados con la vegetación (superficie cubierta con vegetación acuática en el espejo de agua y la cantidad de árboles y arbustos que se encuentran en el perímetro lagunar) para inferir su evolución y dos clasificaciones (genética y de formas) seleccionadas debido a que la primera, con amplia aplicación en grandes ríos, creada en 1976 por Drago y la segunda, si bien es nueva, resume las formas predominantes, la cual reduce o sintetiza otras clasificaciones más complejas en su uso.

En función de los objetivos de esta Tesis, se estudiaron los siguientes parámetros y clasificaciones en las 1.500 lagunas que se irán describiendo:

- Área
- Perímetro
- Longitud máxima
- Fetch
- Ancho máximo
- Ancho medio
- Relación longitud/ancho
- Índice de desarrollo de la línea de costa
- Profundidad máxima
- Profundidad relativa
- Número de tributarios y emisarios
- Cobertura de vegetación acuática
- Distribución perimetral de árboles y arbustos
- Distancia al cauce principal
- Distancia a un cauce secundario
- Conexiones lótico-leníticas

- Clasificación genética
- Clasificación de formas

Área (A)

El *área* se refiere a la extensión superficial de la laguna; en el caso que nos ocupa, este parámetro varía de acuerdo al régimen hidrológico del río Paraná según los periodos de aguas altas y aguas bajas. Se midió con planímetro polar a partir de las fotografías aéreas de escala conocida y se expresó en km² (Håkanson, 1981). El área de la superficie de agua lagunar se ha medido en las 1.500 lagunas, es uno de los parámetros extremadamente importante ya que, por ejemplo, a través de ella la energía solar penetra en el hábitat acuático. Muchos tipos de datos biológicos se refieren a una unidad de área, posibilitando comparaciones significativas entre cuerpos de agua de diferentes tamaños.

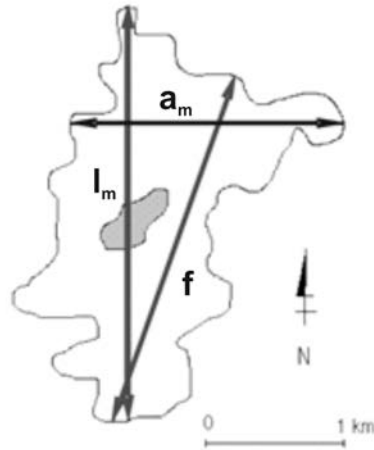
Perímetro (P)

El *perímetro* también es conocido como la longitud de la línea de costa, es decir, es la línea de intersección de la tierra con el agua (Håkanson, 1981). El *perímetro* puede fluctuar considerablemente en las lagunas como consecuencia del nivel hidrométrico del río. Este parámetro, se midió con curvímetro o rotómetro sobre las fotografías aéreas y en algunas lagunas directamente en el campo. La unidad de medida es en km.

Longitud máxima (I_m)

La *longitud máxima* es definida como la distancia entre los puntos más extremos situados sobre la línea de costa de una laguna. Según Håkanson (1981) esta línea no ha de cruzar zonas terrestres, pero sí puede cruzar islas dentro del cuerpo de agua, esto hace que en general dicha línea sea una recta. En lagunas con forma arqueada, como en las lagunas de meandros, la longitud máxima se midió cruzando tierra y con un escalímetro sobre las fotografías aéreas, expresándose en km, (Figura 3.1).

Figura 3.1: Croquis de dos lagunas en donde se muestra la longitud máxima (I_m), el ancho máximo (a_m) y el fetch (f).



Fetch (f)

El *fetch*, o también llamado el *alcance de ola*, o *longitud efectiva de acción del viento*, es la máxima distancia libre de obstáculos entre dos puntos extremos de la laguna (Håkanson, 1981), midiéndose directamente con escalímetro sobre las fotografías aéreas y expresándose en km (Figura 3.1). El *fetch* tiene mayor dimensión limnológica que la longitud máxima, y es de considerable importancia en su relación con la dirección de los vientos dominantes, ya que la exposición de un cuerpo de agua al viento tiene incidencia directa sobre el movimiento del agua (velocidad y dirección de corrientes), originando situaciones dinámicas en el fondo, como son la erosión, transporte y acumulación de los sedimentos que entran en resuspensión e incide, a veces en forma notoria, como por ejemplo, sobre la transparencia del agua.

Ancho máximo (a_m)

El *ancho máximo* se determinó midiendo con escalímetro sobre la fotografía, la longitud de la línea recta perpendicular a la línea de longitud máxima, que une los puntos extremos sobre la costa (Håkanson, 1981). La unidad de medida fue en km (Figura 3.1).

Ancho medio (a)

El *ancho medio* (Håkanson, 1981), se obtuvo según el cociente entre el área de la laguna (A , en km^2) y su longitud máxima (l_m , en km), resultando:

$$a = A / l_m$$

Relación longitud/ancho (I_m/a_m)

La *relación longitud/ancho* (Håkanson, 1981), se calculó según el cociente entre la longitud máxima (en km) y el ancho máximo de la laguna (km), resultando un parámetro adimensional.

Índice de desarrollo de la línea de costa (D_L)

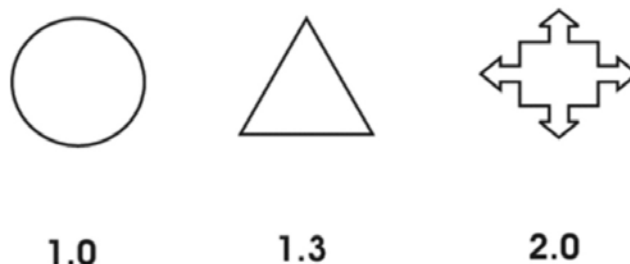
El *desarrollo de la línea de costa* (D_L) es un parámetro adimensional, que relaciona la longitud de la línea de costa o perímetro con la circunferencia de un círculo que tenga la misma área que la laguna (Timms, 1992).

El índice se calculó con la fórmula:

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

Tanto el perímetro (P) como el área (A) deben estar en unidades compatibles. Como se puede interpretar en la fórmula, el menor índice posible es 1,00 que correspondería a un cuerpo de agua de forma circular, lagunas con forma irregular tienen valores mayores de D_L . Índices mayores a 10 son muy raros de encontrar (Figura 3.2).

Figura 3.2: Representaciones gráficas del *índice de desarrollo de la línea de costa* (D_L) para tres posibles formas diferentes de laguna.



Formas en planta irregulares, con D_L grandes ocurren, por ejemplo, en los cuerpos de agua que ocupan valles aluviales inundados (Wetzel, 1981). El *desarrollo de la línea de costa* tiene un interés considerable, porque refleja una mayor heterogeneidad de hábitats acuáticos y ecotonos (zonas de transición acuático-terrestre o acuático-acuático) y por lo tanto un mayor desarrollo de las comunidades litorales (flora y fauna) respecto al volumen de la laguna.

Profundidad máxima (z_m)

Se midió la *profundidad máxima* (z_m) de las lagunas con escandallo y/o a través de relevamientos batimétricos con ecosonda registradora. Este parámetro (en metros) se lo obtuvo en 830 lagunas a través de mediciones de campo en períodos de aguas medias, contándose además, con información del archivo de datos del Instituto Nacional de Limnología (CONICET-UNL).

Profundidad relativa (z_r)

Hutchinson (1957) la definió como la profundidad máxima dividida por el diámetro medio del lago, resultando la siguiente fórmula:

$$z_r = 50 z_m (\pi)^{0,5} / (A)^{0,5}$$

Por un procedimiento un tanto arbitrario, este autor y otros (Timms, 1992; Håkanson, 1981) lo expresan en porcentaje y al convertir las hectáreas en kilómetros cuadrados, resulta la ecuación:

$$z_r = 0,05 z_m (\pi)^{0,5} / (A)^{0,5}$$

z_m = profundidad máxima en metros

A = área en km^2

En general podemos decir que cuanto la profundidad relativa tiene valores bajos, suelen corresponder a lagunas someras, aunque no necesariamente pequeñas, como también aquellas lagunas muy profundas con poca superficie, como las lagunas de meandro. Se la calculó en 830 lagunas que fueron las profundidades medidas, como ya se mencionó en la profundidad máxima.

Número de tributarios y emisarios

Se consideran como *tributarios* a los cauces que aportan agua a las lagunas y como *emisarios*, a aquellos que desaguan las mismas. En la desembocadura de algunos *tributarios* se pueden apreciar pequeños deltas en formación; en cambio en la

embocadura de los *emisarios*, no se observa acumulación de sedimentos, y generalmente están libres de obstáculos. Estos últimos, como ramas de árboles, vegetación acuática, etc., solo se detectan en aquellas lagunas que han sufrido una bajante muy brusca, donde el agua acarrea los materiales descriptos (sobre todo vegetación acuática). Es común observar además, que espejos de agua de gran superficie son divididos en dos por el proceso citado de formación de deltas. En una gran mayoría de situaciones, un único cauce cumple ambas funciones, ya que alimenta y drena a las lagunas.

Conexiones lótica-leníticas

Las *conexiones lóticas-leníticas* se refieren al tipo de conexión que presenta cada laguna con un cauce y/o laguna. Aquí, siguiendo a Drago *et al.*(2003) y Drago (2007), se establecen tres tipos de conexiones, las *directas* o *conexión permanente*, las *indirectas* o *conexión temporaria* y las de *conexión por inundación*, que significan respectivamente, una mayor, menor o nula conectividad entre los cauces activos y las lagunas.

Una *conexión directa* se debe a la unión o nexo permanente a través de una boca, cárcava o cauces de hasta un kilómetro de longitud entre el espejo de agua y el río, o entre dos espejos de agua, indicando una mayor dependencia de los niveles hidrométricos de ambos.

La *indirecta*, es cuando la laguna se conecta a través de los cauces de la llanura aluvial a partir de la fase con aguas en creciente encauzadas hasta el nivel del río de cauce lleno sin desborde (*bankfull*, en inglés).

Conexión por inundación, las lagunas se encuentran *aisladas* sin conexión, en donde reciben aportes cuando los niveles hidrométricos son altos por inundación y solamente como agua de desborde no encauzada a través de la superficie de la llanura de inundación

Según Drago (1981), el fin de la existencia de las conexiones directas indica zonas geomorfológicamente más evolucionadas. Las lagunas más aisladas, reciben aportes cuando los niveles hidrométricos son altos y solamente como agua de desborde no encauzada.

Cobertura de vegetación acuática

La *cobertura de vegetación acuática* es el área superficial de la laguna que está

cubierta por vegetación acuática (conocida comúnmente como "camalotes"). Se estimó, en las fotografías aéreas, en porcentaje sobre el total del área del espejo de agua. En ellas se interpreta la vegetación acuática con un tono y textura diferenciado al del agua; encontrándose esta vegetación dentro del perímetro lagunar. Un trabajo similar realizaron Bayo *et al.* (1981) en fotografías 1:5.000 y demostraron estadísticamente que las diferencias entre las mediciones de la cobertura realizadas en las fotografías aéreas y en el campo no fueron significativas. El test desarrollado es de hipótesis de la diferencia de las medias entre valores de cobertura calculados por fotointerpretación y los observados en campaña. Sobre siete salidas al campo y con un total de 837.100 m² medidos en las fotos y 854.700 m² medidos en campo, con una media de 119.590 m² y 122.100 m² respectivamente, el *test t* arrojó un valor igual a 0,6182 (no significativo para un nivel de 0,01).

Distribución perimetral de árboles y arbustos

La *distribución perimetral de la vegetación arbórea y arbustiva* se midió con el curvímetero o rotómetro, expresándose en porcentaje del perímetro. Corresponde a la cantidad de árboles y arbustos que rodean el espejo de agua, expresando en porcentaje el perímetro que éstos ocupan. Se observan muy bien mediante estereoscopia, presentando un tono diferenciado y forma lineal bordeando la laguna.

Distancias al cauce principal y a un cauce secundario

La *distancia al cauce principal* se define como la menor distancia en línea recta entre la laguna y el cauce principal del río Paraná. La *distancia a un cauce secundario* es similar a la anterior pero en relación al cauce secundario más cercano. Estas medidas (en km), se realizaron en las fotografías aéreas y en las cartas imagen satelitarias.

Clasificación genética

Se realizó una clasificación de los ambientes leníticos según Drago (1976), basada en la génesis y evolución de los ambientes leníticos en llanuras aluviales, comprende los siguientes tipos de lagunas:

- Tipo 1: Lagunas de cegamiento
- Tipo 2: Lagunas semilunares

- Tipo 3: Lagunas semilunares múltiples
- Tipo 4: Lagunas de espiras
- Tipo 5: Lagunas de albardón
- Tipo 6: Lagunas de desborde
- Tipo 7: Lagunas de adosamiento
- Tipo 8: Lagunas de expansión lateral
- Tipo 9: Lagunas por anexión
- Tipo 10: Lagunas encadenadas
- Tipo 11: Lagunas de confluencia
- Tipo 12: Lagunas deltaicas
- Tipo 13: Lagunas laterales
- Tipo 14: Pantanos.

Clasificación de formas

Se realizó una clasificación de formas de los ambientes leníticos según Paira y Drago (2006), basada en las figuras en planta que presentan cada cuerpo de agua y teniendo en cuenta algunos parámetros morfométricos, comprende los siguientes tipos de formas de lagunas:

- Redondas-ovaladas
 - Circular
 - Elíptica
 - Gota
- Alargadas
 - Alargadas finas
 - Alargadas anchas
- Irregulares

A modo de resumen en el cuadro siguiente se presenta el detalle de los parámetros utilizados en este trabajo con sus correspondientes unidades de medición y/o modo de clasificación:

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad de medida/clasificación</i>
Área	km ²
Perímetro	km
Longitud máxima	km
Fetch	km
Ancho máximo	km
Ancho medio	km
Relación longitud/ancho	adimensional
Índice de desarrollo de la línea de costa	adimensional
Profundidad máxima	m
Profundidad relativa	%
Número de tributarios y emisarios	numeral
Conexión lótica	directa o indirecta
Conexión lenítica	directa o indirecta
Distancia al cauce principal	km
Distancia a un cauce secundario	km
Cobertura de vegetación acuática	%
Distribución perimetral de árboles	%
Distribución perimetral de arbustos	%
Clasificación genética	Tipos
Clasificación de formas	Tipos

Capítulo 4: Morfología y morfometría de las lagunas del Río Paraná Medio

4.1. Morfología y descripción morfométrica

Uno de los objetivos de la Tesis consiste en identificar, clasificar y analizar la morfología y morfometría de las lagunas en función de las unidades geomorfológicas, por lo cual se conceptualizarán brevemente algunos términos en este contexto. Siguiendo a Håkanson (1981), se considerará a la morfología como el estudio de las formas de las lagunas y su génesis desde el punto de vista geográfico, geológico y su rol, en una amplia perspectiva, dentro de la Limnología Física. En cuanto a la morfometría, será la cuantificación y medición de estas formas y sus elementos que llamaremos parámetros morfométricos que a continuación se detallan.

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, se trabajó con 10 parámetros morfométricos, 4 de conectividad hidrológica, 3 relacionados con la vegetación acuática, arbórea y arbustiva y 2 clasificaciones relacionadas con la génesis y las formas de los ambientes leníticos. En este Capítulo se definen y presentan los resultados de las mediciones y los cálculos estadísticos realizados con cada uno de ellos, con excepción de las clasificaciones, que serán tratadas en el Capítulo 5. Las conclusiones de este Capítulo y de los siguientes (Capítulos 5 y 6), serán desarrolladas en el Capítulo 7.

4.2. Morfometría de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio

4.2.1. Cálculo de los errores

Las medidas del área y el perímetro se han medido cuidadosamente, debido a que constituyen mediciones para los posteriores cálculos de los otros parámetros morfométricos. Es por ello, que se ha estimado el error en la medición del área y del perímetro.

Error en la medición del área de las lagunas

Maling (1989) enumera cuatro fuentes de error al operar un planímetro polar comenzando por el error al leer el vernier, el que surge al no coincidir el punto del cursor con la línea del perímetro de la parcela. Aquel deriva de la operación mecánica del instrumento causada por la fricción y rodamiento de los componentes y el error que ocurre durante el recorrido en la medición de la parcela, debido a la falta de concentración y visión defectuosa, entre otras. Especialmente en este último punto,

determinó que para superficies mayores a 200 cm², el error se duplica y llegando hasta 12,5 cm² (lo que representa el 6,25%). Por tal motivo, se centró en calcular el error absoluto cometido en la medición del área superficial de las lagunas aluviales considerando superficies regulares dentro del rango trabajado, de las más pequeñas hasta las de mayor tamaño planimetradas en las fotografías aéreas.

Se consideraron círculos con diámetros de 0,5 cm; 1 cm; 1,5 cm; 2 cm; 2,5 cm; 3 cm y 3,5 cm (Tabla 4.1), cuadrados y triángulos con lados de 0,5 cm; 1,5 cm; 2 cm; 2,5 cm; 3 cm y 3,5 cm (Tablas 4.2 y 4.3).

Tabla 4.1: Errores en las mediciones de las áreas de círculos de varios tamaños. Siendo “Ø” el diámetro del círculo.

	Ø=0,5 cm	Ø=1 cm	Ø=1,5 cm	Ø=2 cm	Ø=2,5 cm	Ø=3 cm	Ø=3,5 cm
Área real (cm ²)	0,196	0,785	1,767	3,142	4,909	7,069	9,621
Área con planímetro (cm ²)	0,200	0,917	1,850	3,233	5,267	7,400	9,967
Error (cm ²)	0,004	0,131	0,083	0,092	0,358	0,331	0,346
Error (%)	1,9	16,7	4,7	2,9	7,3	4,7	3,6

Tabla 4.2: Errores en las mediciones de las áreas de cuadrados de varios tamaños. Siendo “L” la longitud del lado del cuadrado.

	L=0,5 cm	L=1 cm	L=1,5 cm	L=2 cm	L=2,5 cm	L=3 cm	L=3,5 cm
Área real (cm ²)	0,250	1,000	2,250	4,000	6,250	9,000	12,250
Área con planímetro (cm ²)	0,283	1,033	2,467	4,300	6,367	9,283	12,267
Error (cm ²)	0,033	0,033	0,217	0,300	0,117	0,283	0,017
Error (%)	13,3	3,3	9,6	7,5	1,9	3,1	0,1

Tabla 4.3: Errores en las mediciones de las áreas de triángulos equiláteros de varios tamaños. Siendo “L” la longitud del lado del triángulo.

	L=0,5 cm	L=1 cm	L=1,5 cm	L=2 cm	L=2,5 cm	L=3 cm	L=3,5 cm
Área real (cm ²)	0,108	0,433	0,974	1,732	2,706	3,897	5,304
Área con planímetro (cm ²)	0,100	0,400	0,900	1,667	2,683	3,650	5,300
Error (cm ²)	- 0,008	- 0,033	- 0,074	- 0,065	- 0,023	- 0,247	- 0,004
Error (%)	- 7,6	- 7,6	- 7,6	- 3,8	- 0,8	- 6,3	- 0,1

El error absoluto en las mediciones de las áreas en círculos, cuadrados y triángulos de distinto tamaño varió de 16,7% a 0,1% (Tablas 4.1, 4.2 y 4.3). El máximo

error (16,7%) corresponde a las mediciones realizadas en círculos de pequeñas dimensiones (1 cm de diámetro), siguiéndole con 13,3% y 9,6% en cuadrados de 0,5 cm y 1,5 cm de lado. El rango de errores para los círculos varió de 16,7% a 1,9% para diámetros de 1 cm a 0,5 cm. En los cuadrados el error máximo fue de 13,3% para lados de 0,5 cm y 0,1% para lados de 3,5 cm. En los triángulos fue de - 7,6% para 0,5 cm y 1 cm de lados y 0,1% para 3,5 cm de lado. El promedio general de los errores fue de 6,0%, 5,6% y - 4,8% para los círculos, cuadrados y triángulos respectivamente.

Como se verá más adelante, el área media de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio es de 0,32 km² (Paira, 2003; Paira y Drago, 2006, 2007), que medidas en las escalas de las fotografías aéreas trabajadas (1:20.000, 1:35.000 y 1:50.000) arrojan errores que varían de acuerdo a la escala. Considerando los círculos, para la escala 1:20.000 el error oscila de 3,6% a 4,7%, para 1:35.000 de 2,9% a 4,7% y para 1:50.000 de 4,7% a 16,7% (Tabla 4.4). Para los cuadrados, en la escala 1:20.000 el error varía de 1,9% a 3,1%, en 1:35.000 de 7,5% a 9,6% y para 1:50.000 de 3,3% a 9,6% (Tabla 4.5). En los triángulos, para la escala 1:20.000 de - 0,1%, para 1:35.000 de - 0,8% a - 3,8% y para 1:50.000 de - 3,8% a - 7,6% (Tabla 4.6).

Tabla 4.4: Errores absolutos (%) y áreas (km²) para círculos de distinto diámetro.

Diámetro Círculo (cm)	Error absoluto %	Área (km ²) 1:20.000	Área (km ²) 1:35.000	Área (km ²) 1:50.000
0,5	1,9	0,00785	0,02405	0,04909
1,0	16,7	0,03142	0,09621	0,19635
1,5	4,7	0,07069	0,21648	0,44179
2,0	2,9	0,12566	0,38485	0,78540
2,5	7,3	0,19635	0,60132	1,22719
3,0	4,7	0,28274	0,86590	1,76715
3,5	3,6	0,38485	1,17859	2,40529

Tabla 4.5: Áreas (km²) y errores absolutos para cuadrados de distinto lado.

Lado Cuadrado (cm)	Error absoluto %	Área (km ²) 1:20.000	Área (km ²) 1:35.000	Área (km ²) 1:50.000
0,5	13,3	0,01000	0,03063	0,06250
1,0	3,3	0,04000	0,12250	0,25000
1,5	9,6	0,09000	0,27563	0,56250
2,0	7,5	0,16000	0,49000	1,00000
2,5	1,9	0,25000	0,76563	1,56250
3,0	3,1	0,36000	1,10250	2,25000
3,5	0,1	0,49000	1,50063	3,06250

Tabla 4.6: Áreas (km²) y errores absolutos para triángulos de distinto lado.

Lado Triángulo (cm)	Error absoluto %	Área (km ²) 1:20.000	Área (km ²) 1:35.000	Área (km ²) 1:50.000
0,5	-7,6	0,00433	0,01326	0,02706
1,0	-7,6	0,01732	0,05304	0,10825
1,5	-7,6	0,03897	0,11935	0,24357
2,0	-3,8	0,06928	0,21218	0,43301
2,5	-0,8	0,10825	0,33153	0,67658
3,0	-6,3	0,15588	1,47740	0,97428
3,5	-0,1	0,21218	0,64979	1,32610

Error en la medición del perímetro de las lagunas

Al igual que para la superficie (el área) se han utilizado una serie de figuras geométricas (circunferencias, cuadrados y triángulos) con perímetros calculados analíticamente y medidos con curvímetero y luego calculado el error absoluto en las mediciones (Tablas 4.7, 4.8 y 4.9).

Tabla 4.7: Errores en las mediciones de los perímetros de circunferencias de varios tamaños. Siendo "Ø" el diámetro de la circunferencia.

	Ø=0,5 cm	Ø=1 cm	Ø=1,5 cm	Ø=2 cm	Ø=2,5 cm	Ø=3 cm	Ø=3,5 cm
Perímetro real (cm)	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	9,42	11,00
Perímetro c/curvímetero (cm)	1,90	3,40	4,97	6,40	8,33	10,03	11,63
Error absoluto (cm)	0,33	0,26	0,25	0,12	0,48	0,61	0,64
Error absoluto (%)	21,0	8,2	5,4	1,9	6,1	6,5	5,8

Tabla 4.8: Errores en las mediciones de los perímetros de cuadrados de varios tamaños. Siendo "L" la longitud del lado del cuadrado.

	L=0,5 cm	L=1 cm	L=1,5 cm	L=2 cm	L=2,5 cm	L=3 cm	L=3,5 cm
Perímetro real (cm)	2	4	6	8	10	12	14
Perímetro c/curvímetero (cm)	1,90	3,87	6,23	8,17	9,93	11,93	13,93
Error absoluto (cm)	0,10	0,13	0,23	0,17	0,07	0,07	0,07
Error absoluto (%)	5,0	3,3	3,9	2,1	0,7	0,6	0,5

Tabla 4.9: Errores en las mediciones de los perímetros de triángulos de varios tamaños. Siendo "L" la longitud del lado del triángulo.

	L=0,5 cm	L=1 cm	L=1,5 cm	L=2 cm	L=2,5 cm	L=3 cm	L=3,5 cm
Perímetro real (cm)	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5
Perímetro c/curvímetro (cm)	1,83	3,17	4,57	6,37	7,93	9,10	10,43
Error absoluto (cm)	0,33	0,17	0,07	0,37	0,43	0,10	0,07
Error absoluto (%)	22,2	5,6	1,5	6,1	5,8	1,1	0,6

El error cometido con el curvímetro varió de 0,5% al 22,2%, considerando en su conjunto a las circunferencias, los cuadrados y triángulos. Los errores máximos corresponden a figuras de pequeñas dimensiones, como son la circunferencia de 0,5 cm de diámetro y triángulo de 0,5 cm de lado. Para figuras de diámetros mayores a 1 cm los errores adquieren valores con un máximo de 8,2%.

En las circunferencias el error máximo fue de 21,0% para 0,5 cm de diámetro y el mínimo de 1,9% para 2 cm. Considerando las escalas de trabajo (1:20.000, 1:35.000 y 1:50.000) corresponderían a 66 m, 115 m y 165 m de error máximo para las lagunas que tienen de acuerdo a las escala un perímetro de 314 m, 550 m y 785 m y una longitud máxima de 100 m, 175 m y 250 m respectivamente. Para el error mínimo, es de 24 m, 42 m y 60 m para perímetros de 1.256 m, 2.198 m y 3.140 m y de longitud máxima de 400 m, 700 m y 1.000 m respectivamente (Tabla 4.10).

En los cuadrados, el error máximo fue de 5,0% para 0,5 cm de lado y el mínimo 0,5 % para 3,5 cm, que corresponderían errores máximos de 20 m, 35 m y 50 m para lagunas pequeñas de 400 m, 700 m y 1.000 m de perímetro. El error mínimo fue de 2 m, 3,5 m y 5 m, respectivamente (Tabla 4.11).

Con respecto a los triángulos, el error máximo fue de 22,2% para figuras triangulares de 0,5 cm de lado y 0,6% para 3,5 cm. Llevados estos valores a las escalas trabajadas, arrojarían errores máximos de 67 m, 117 m y 167 m para lagunas de 300 m, 525 m y 750 m de perímetro. El error mínimo, resulta de 2 m, 3 m y 5 m para las mismas dimensiones de lagunas (Tabla 4.12).

En resumen, el error promedio para las figuras circulares es de 7,8%, para los cuadrados 2,3% y para los triángulos 6,1%; resultando el error promedio general o total de 5,4%.

Tabla 4.10: Perímetros (km) y errores absolutos para circunferencias de distinto diámetro.

Diámetro Círculo (cm)	Error absoluto %	Perímetro (km) 1:20.000	Perímetro (km) 1:35.000	Perímetro (km) 1:50.000
0,5	21,0	0,314	0,550	0,785
1,0	8,2	0,628	1,100	1,571
1,5	5,4	0,942	1,649	2,356
2,0	1,9	1,257	2,199	3,142
2,5	6,1	1,571	2,749	3,927
3,0	6,5	1,885	3,299	4,712
3,5	5,8	2,199	3,848	5,498

Tabla 4.11: Perímetros (km) y errores absolutos para cuadrados de distinto lado.

Lado Cuadrado (cm)	Error absoluto %	Perímetro (km) 1:20.000	Perímetro (km) 1:35.000	Perímetro (km) 1:50.000
0,5	5,0	0,400	0,700	1,000
1,0	3,3	0,800	1,400	2,000
1,5	3,9	1,200	2,100	3,000
2,0	2,1	1,600	2,800	4,000
2,5	0,7	2,000	3,500	5,000
3,0	0,6	2,400	4,200	6,000
3,5	0,5	2,800	4,900	7,000

Tabla 4.12: Perímetros (km) y errores absolutos para triángulos de distinto lado.

Lado Triángulo (cm)	Error absoluto %	Perímetro (km) 1:20.000	Perímetro (km) 1:35.000	Perímetro (km) 1:50.000
0,5	22,2	0,300	0,525	0,750
1,0	5,6	0,600	1,050	1,500
1,5	1,5	0,900	1,575	2,250
2,0	6,1	1,200	2,100	3,000
2,5	5,8	1,500	2,625	3,750
3,0	1,1	1,800	3,150	4,500
3,5	0,6	2,100	3,675	5,250

Las lagunas del Paraná, como también se verá más adelante, tienen un perímetro medio de 3,10 km, lo que implicaría que los errores en aquellas lagunas consideradas circulares rondarían el 5,8% para escala 1:20.000, 6,1% a 6,5% para 1:35.000 y 1,9% para 1:50.000 (Tabla 4.10). En cuadrados, 0,5% para 1:20.000, 0,7% a 2,1% para 1:35.000 y 3,9% para 1:50.000 (Tabla 4.11). En los triángulos, 0,6% para 1:20.000, de 1,1% para 1:35.000 y 6,1% para 1:50.000 (Tabla 4.12).

Todos estos cálculos de los errores absolutos para las mediciones del área y

del perímetro, lleva a concluir que los errores cometidos con el planímetro y el curvímetro son mínimos en todas las figuras; 5,4% como promedio general para cada instrumento, haciéndolos recomendables como método de medición de referencia para cuerpos de agua con áreas y perímetros desconocidos. Cabe aclarar, que el error en la medida del perímetro podría incrementarse en aquellas lagunas que presentan formas irregulares en su contorno, diferenciándose notablemente de aquellas que se asemejan a figuras geométricas regulares y que están presentes en la llanura aluvial del río Paraná.

4.2.2. Parámetros morfométricos

Área (A)

El área se ha podido medir en todas las lagunas, a diferencia de la profundidad máxima, la distribución de árboles y arbustos en el perímetro lagunar y las respectivas distancias al cauce principal y a un cauce secundario, siendo éste el parámetro morfométrico que mejor caracteriza el tamaño.

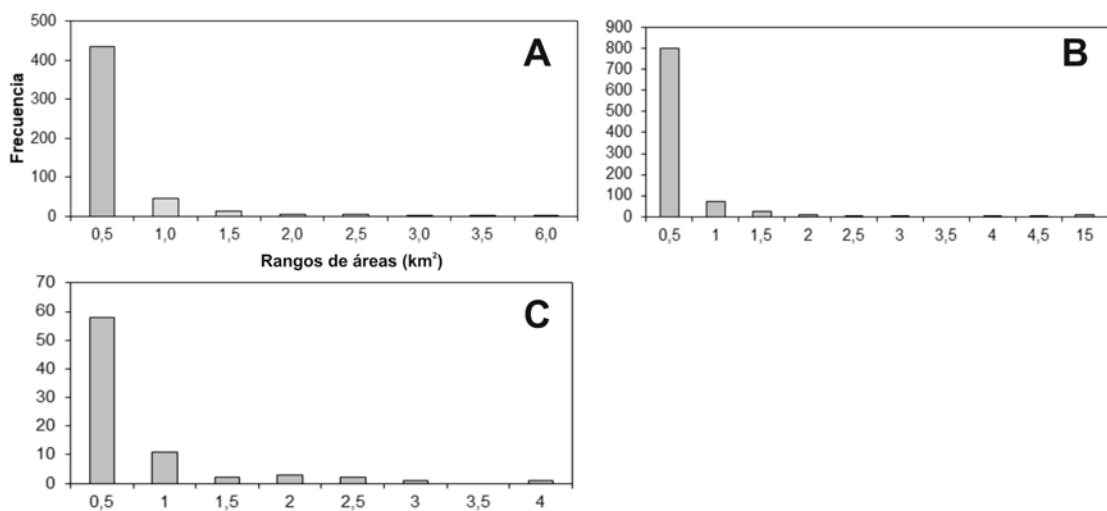
En el tramo Norte del Paraná, el área superficial presenta una media aritmética de 0,29 km², la mediana es de 0,15 km² (evidenciada por el elevado número de lagunas pequeñas) y los valores mínimos y máximos son 0,01 km² y 5,68 km² (Tabla 4.13). Las lagunas más numerosas son las que tienen un área superficial hasta 0,50 km² con el 85,9% del total, luego desciende a un 9,1% las lagunas que tienen un área mayor a 0,50 km² y menor a 1,00 km². Si bien el área máxima medida es de 5,68 km², el 97,6% de las lagunas tienen un área hasta 1,50 km². La superficie total de los 505 espejos de agua lagunares analizados es de 147,5 km² (Figura 4.1: A).

Tabla 4.13: Estadística descriptiva del área en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	0,29 km ²	0,32 km ²	0,53 km ²
Mediana	0,15 km ²	0,14 km ²	0,30 km ²
Desvío estándar	0,453 km ²	0,799 km ²	0,653 km ²
Coficiente de asimetría	5,38	10,39	2,75
Valor mínimo	0,01 km ²	0,01 km ²	0,05 km ²
Valor máximo	5,68 km ²	14,68 km ²	3,58 km ²
Suma de superficie total	147,5 km ²	292,5 km ²	41,0 km ²

En el tramo Centro del Paraná, el área superficial presenta una media aritmética de 0,32 km², la mediana es de 0,13 km², el área mínima es de 0,01 km² y 14,68 km², la máxima (Tabla 4.13). Aquí también la mediana es notablemente inferior a la media, debido a la presencia de unas pocas lagunas con gran tamaño que distorsionan el promedio (el 0,8% de las lagunas tienen entre 4,5 km² y 14,68 km²). Las lagunas más numerosas son las que tienen un área superficial hasta 0,50 km² con el 87,5% del total, luego desciende a un 7,5% las lagunas que tienen un área mayor a 0,50 km² y menor a 1,00 km². El 97,5% de las lagunas tienen un área hasta 1,50 km². La superficie total de los 917 espejos de agua lagunares analizados es de 292,5 km² (Figura 4.1: B).

Figura 4.1: Histograma de frecuencias del área superficial (km²), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Sur del Paraná, presentan un área superficial con una media aritmética de 0,53 km², resultando la mediana de 0,30 km², también debido a lo explicado para los tramos anteriores. Aquí el área mínima medida es mayor a los tramos anteriores (0,05 km²) y la mayor área resulta inferior a los otros tramos (Tabla 4.13). Las lagunas más numerosas son las que tienen un área superficial entre 0,05 km² y 0,50 km² con el 74,4% del total y el 14,1% de las lagunas tienen un área mayor a 0,50 km² y menor a 1,00 km². Si bien el área máxima medida es de 3,58 km², el 91,1% de las lagunas tienen un área hasta 1,5 km² y el 94,9% hasta 2 km². La superficie total de los 78 espejos de agua lagunares analizados es de 41,0 km² (Figura 4.1: C).

Comparando los tres tramos en valores medios, se observa la similitud de

tamaños entre los tramos Norte y Centro y en el tramo Sur, casi el doble en tamaño. El desvío estándar es elevado con respecto a la media en los tres tramos y es debido a la presencia de valores extremos.

Relación del área con otras variables

El área presenta relación con el resto de los parámetros trabajados como son la longitud máxima, el ancho medio, el índice de desarrollo de la línea de costa, la profundidad relativa, la cobertura de la vegetación acuática y la distribución perimetral de árboles y de arbustos, que se irán discutiendo a medida que se vayan tratando.

Perímetro (P)

Las lagunas van aumentando su perímetro (en valores medios) de Norte a Sur, 2,80 km, 3,21 km y 3,88 km, al igual que los perímetros mínimos: 0,36 km, 0,50 km y 1,20 km (en los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente; Tabla 4.14).

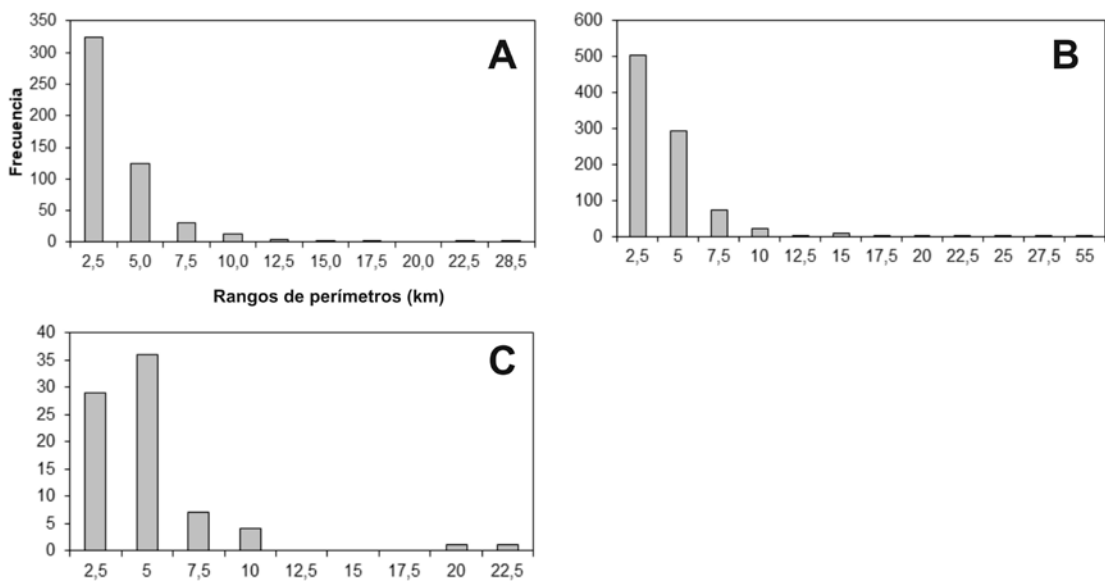
En el tramo Norte, la mayor cantidad de lagunas (el 64,4%), son las que tienen un perímetro entre 0,36 km (valor mínimo medido) y 2,50 km, siguiendo con 24,8% las que tienen un perímetro entre 2,50 km y 5,00 km (Figura 4.2: A). El 95,3 % del total de los perímetros medidos en las lagunas es menor o igual a 7,5 km y el 97,9 % tiene un perímetro menor o igual a 10,00 km, y solo 10 lagunas tienen perímetros mayores. Según Cole (1983), este parámetro es muy importante a considerar, y es debido a que se desarrolla en él una biota o comunidad litoral que bordean los sistemas acuáticos y que se mezclan con el escenario terrestre indispensable para la vida del sistema acuático.

Tabla 4.14: Estadística descriptiva del perímetro en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	2,80 km	3,21 km	3,88 km
Mediana	2,10 km	2,40 km	3,00 km
Desvío estándar	2,580 km	3,242 km	3,175 km
Coficiente de asimetría	4,09	6,60	3,67
Valor mínimo	0,36 km	0,50 km	1,20 km
Valor máximo	28,50 km	55,00 km	22,00 km
Suma de perímetros total	1411,7 km	2.942,1 km	303,0 km

En el tramo Centro, la mayor cantidad de lagunas, el 55,0% son las que tienen un perímetro entre 0,50 km (perímetro mínimo medido) y 2,50 km, siguiendo con 32,0% las que tienen un perímetro entre 2,50 km y 5,00 km (Figura 4.2: B). El 95,2% del total de los perímetros medidos en las lagunas es menor o igual a 7,5 km y el 97,6% tiene un perímetro menor o igual a 10,00 km, y solo 23 lagunas tienen perímetros mayores hasta llegar a 55,0 km.

Figura 4.2: Histograma de frecuencias del perímetro (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Sur, la mayor cantidad de lagunas (el 37,2%), son las que tienen un perímetro entre 1,20 km (mínimo perímetro medido) y 2,50 km, siguiendo con 46,2% las que tienen un perímetro entre 2,50 km y 5,00 km (Figura 4.2: C). El 92,4% del total de los perímetros medidos en las lagunas es menor o igual a 7,5 km y el 97,5% tiene un perímetro menor o igual a 10,00 km, restando solo 2 lagunas que poseen perímetros mayores. El conjunto de las 78 lagunas suman un perímetro total de 303,0 km.

Longitud máxima (l_m)

La longitud máxima en valores medios es mayor en el tramo Sur (1,39 km), al igual que la medición mínima (0,45 km) que es hasta más del doble en comparación con los otros tramos (Tabla 4.15). El 56,6% de las lagunas se concentra en el rango de

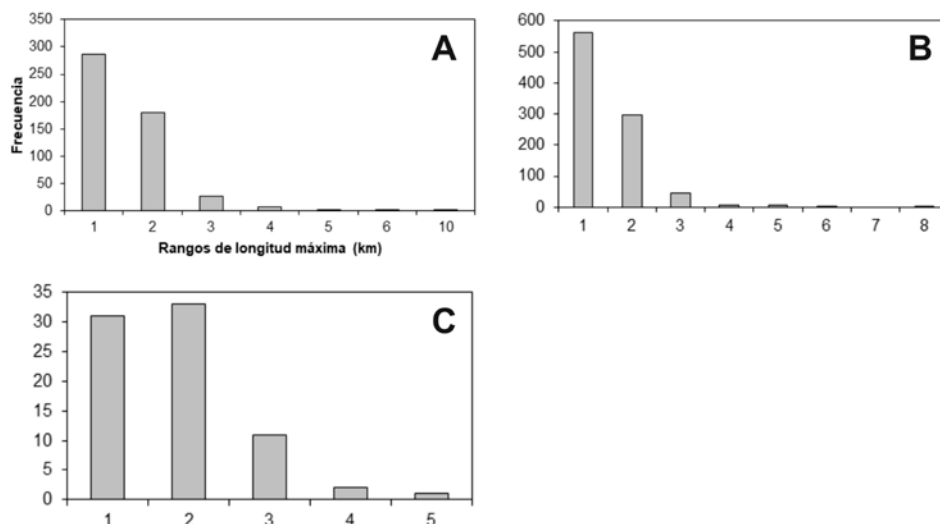
0,12 km (valor mínimo medido) y menor a 1,00 km, el 35,6% las que tienen una longitud máxima mayor a 1,00 km y hasta 2,00 km. El 97,6% de las lagunas tienen una longitud máxima menor o igual a 3,00 km, restando sólo 11 lagunas con longitudes máximas mayores (Figura 4.3: A).

Tabla 4.15: Estadística descriptiva de la longitud máxima en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	1,11 km	1,02 km	1,39 km
Mediana	0,95 km	0,88 km	1,23 km
Desvío estándar	0,776 km	0,657 km	0,757 km
Coficiente de asimetría	3,51	2,84	1,57
Valor mínimo	0,12 km	0,18 km	0,45 km
Valor máximo	9,20 km	7,20 km	4,25 km
Suma longitud máxima total	558,5 km	936,8 km	108,7 km

En el tramo Centro, el 61,5% de las lagunas se concentra en el rango de 0,18 km y 1,00 km, el 32,2% las que tienen una longitud máxima mayor a 1,00 km y menor a 2,00 km. El 98,6% de las lagunas tienen una longitud máxima menor o igual a 3,00 km, restando sólo 13 lagunas con longitudes máximas mayores (Figura 4.3: B).

Figura 4.3: Histograma de frecuencias de la longitud máxima (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



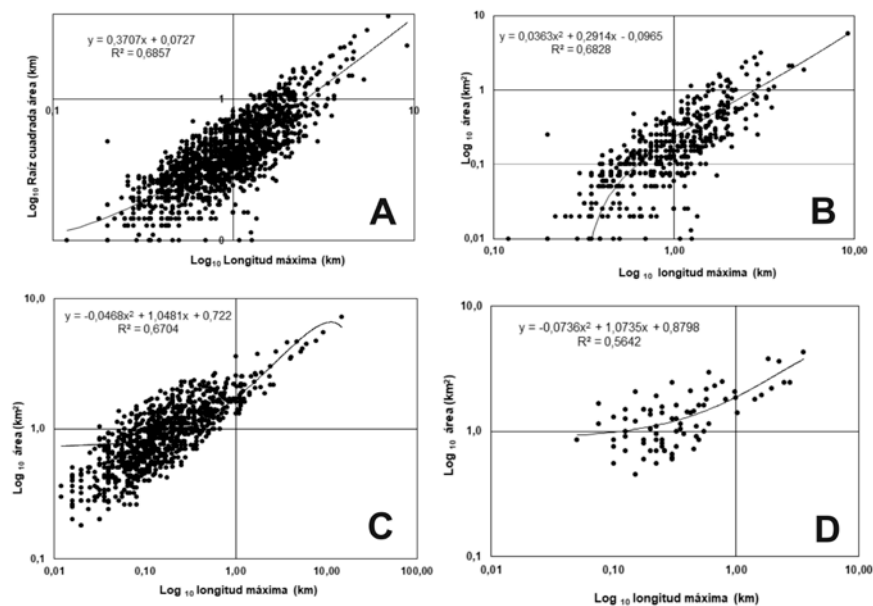
En el tramo Sur, la distribución de frecuencias presenta que el 39,7% de las lagunas tienen una longitud máxima mayor a 0,45 km y 1 km, el 42,3% tienen una longitud máxima de 1 km a menor de 2 km y el 96,1% de los cuerpos de agua poseen una longitud máxima menor a 3 km y solo 3 lagunas superan los 3 km (Figura 4.3: C).

Relación entre la longitud máxima (l_m) y el área (A)

El área y la longitud máxima, considerando la totalidad de las lagunas en los tres tramos (Norte, Centro y Sur), muestran una correlación lineal de 0,83 ($r = 0,83$; $p < 0,01$) y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,69 (Paira, 2003; Figura 4.4: A). Esta relación de dependencia del área superficial de las lagunas con la longitud máxima, si bien no es elevada, permite estimar con un margen de error el área de un cuerpo lagunar en función de la medición de la longitud máxima. Esto resulta útil, porque la medición de la longitud máxima es más sencilla que medir el área.

Con relación a cada tramo, los valores son similares, ya que en el tramo Norte se puede observar una elevada dependencia, con una correlación de 0,83 ($r = 0,83$; $p < 0,01$; $R^2 = 0,683$; Figura 4.4: B). Para el tramo Centro, el coeficiente de correlación es similar al Norte ($r = 0,82$; $R^2 = 0,670$; Figura 4.4: C) y en el tramo Sur, al igual que los anteriores, de 0,75 ($r = 0,75$; $p < 0,01$; $R^2 = 0,564$; Figura 4.4: D).

Figura 4.4: Regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) de la longitud máxima (km) y la raíz cuadrada del área (km^2) con logaritmo base 10, para 1.500 lagunas (A), 505 lagunas del tramo Norte (B), 917 lagunas del tramo Centro (C) y 78 lagunas del tramo Sur (D) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



Fetch (f)

Las lagunas del tramo Sur presentan una media del fetch (1,20 km) de casi un tercio más en relación a los otros tramos (0,94 km y 0,89 km) y un fetch mínimo (0,45 km) que triplica y duplica a los otros (0,12 km y 0,18 km) tramos Norte y Centro, respectivamente (Tabla 4.16).

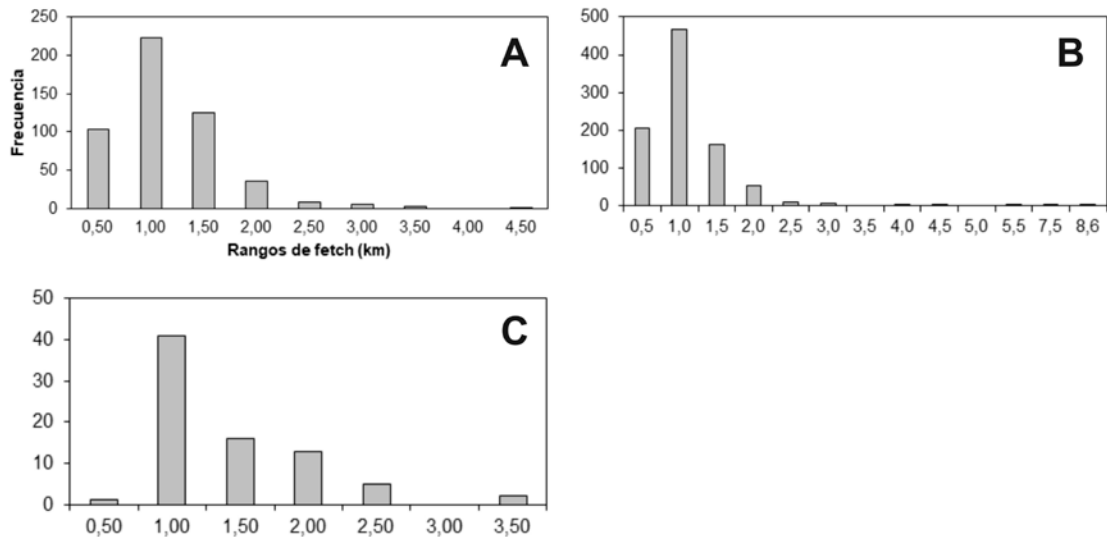
En el tramo Norte del Paraná, las lagunas más numerosas son las que tienen un fetch entre 0,50 km y 1,00 km con el 44,2%, luego le siguen aquellas mayores a 1,00 km a 1,50 km con el 24,8% y con el 20,6% las lagunas con un fetch de 0,12 km (valor mínimo medido) y 0,50 km. Si bien el fetch máximo medido es 4,50 km en una laguna, el 96,7% de ellas están en el rango de 0,12 km a 2,00 km. La suma total de todos los fetch (505 espejos de agua lagunares analizados) es de 474,8 km (Figura 4.5: A).

Tabla 4.16: Estadística descriptiva del fetch en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	0,94 km	0,89 km	1,20 km
Mediana	0,82 km	0,75 km	1,00 km
Desvío estándar	0,527 km	0,608 km	0,573 km
Coeficiente de asimetría	1,81	5,01	1,39
Valor mínimo	0,12 km	0,18 km	0,45 km
Valor máximo	4,50 km	8,60 km	3,25 km
Suma del fetch total	474,8 km	813,73 km	93,2 km

En el tramo Centro, el 51,0% de las lagunas se concentra en el rango de mayores a 0,50 km a 1,00 km, el 22,4% las que tienen un fetch de 0,18 km (valor mínimo) a 0,50 km. El 97,1% de las lagunas tienen un fetch que oscila entre 0,18 km y 2,00 km y el 99,3% entre 0,18 km y 3,00 km, restando sólo 7 lagunas con fetch mayores (Figura 4.5: B).

Figura 4.5: Histograma de frecuencias del fetch (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.

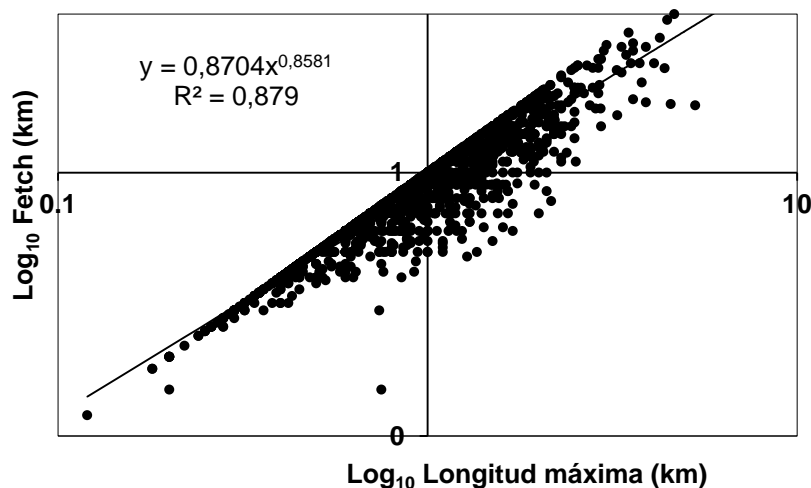


En el tramo Sur, la distribución de frecuencias determina que la mayoría de las lagunas (52,6%) tienen un fetch entre 0,50 km y 1,00 km. Con un 20,5% aquellas con fetch mayor a 1,00 km y menor a 1,50 km. Le siguen (16,7%) las lagunas con fetch mayor a 1,50 km a 2,00 km. El 97,5% de los cuerpos de agua poseen un fetch entre 0,45 km a 2,50 km, sólo una laguna tiene un fetch menor de 0,50 km y solo 2 lagunas superan los 2,50 km (Figura 4.5: C).

Relación entre el fetch y la longitud máxima

En el conjunto de las lagunas del Paraná la correlación entre el fetch y la longitud máxima es elevada, con un coeficiente de 0,94 (coeficiente de determinación $R^2 = 0,879$; Figura 4.6). Las medias aritméticas resultaron similares (fetch = 0,92 km y longitud máxima = 1,07) y la distribución de frecuencias demostraron que el 99,2 % de las lagunas tienen una longitud máxima menor o igual a 3,94 km y un fetch menor o igual a 3,02 km, por lo cual se demuestra la relación de similitud en la magnitud y distribución de ambos parámetros.

Figura 4.6: Regresión lineal y coeficiente de determinación de la longitud máxima (km) y el fetch (km) con logaritmo base 10, para 1.500 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.



Ancho máximo (a_m)

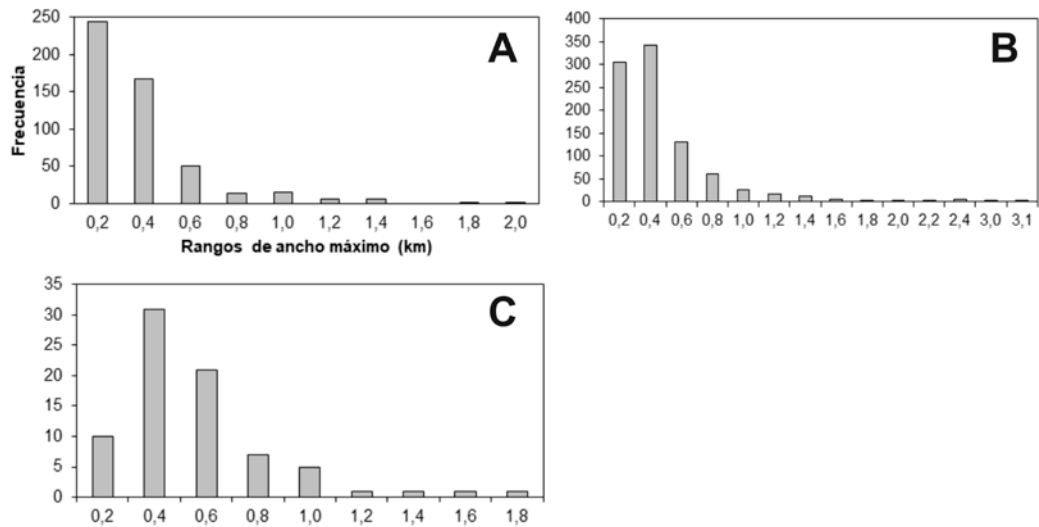
Comparando los tres tramos (Tabla 4.17), se observa que el ancho máximo en valores medios se va incrementando de Norte a Sur hasta un tercio más (0,30 km, 0,38 km y 0,48 km en los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente) y el valor mínimo es más de tres veces en el tramo Sur (0,15 km) con respecto a las lagunas del Norte y Centro (0,04 km y 0,03 km).

Tabla 4.17: Estadística descriptiva del ancho máximo en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	0,30 km	0,38 km	0,48 km
Mediana	0,21 km	0,26 km	0,40 km
Desvío estándar	0,255 km	0,352 km	0,300 km
Coefficiente de asimetría	2,51	3,11	1,79
Valor mínimo	0,04 km	0,03 km	0,15 km
Valor máximo	1,90 km	3,10 km	1,65 km
Suma anchos máximos total	150,1 km	347,33 km	37,8 km

En el tramo Norte, las lagunas más numerosas son las que tienen un ancho máximo entre 0,04 km (valor mínimo medido) y 0,20 km con el 48,3% del total, luego les siguen con un 33,3% las lagunas que tienen un ancho máximo mayor a 0,20 km y menor a 0,40 km, lo que resulta que el 81,6% de las lagunas presentan un ancho máximo entre 0,04 km y 0,40 km y el 91,5% de las lagunas de 0,40 km a 0,60 km, (Figura 4.7: A). La suma de todos los anchos máximos arroja 150,1 km.

Figura 4.7: Histograma de frecuencias del ancho máximo (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Centro, las lagunas más numerosas son las que tienen un ancho máximo entre 0,20 km y 0,40 km con el 37,4% del total, luego les siguen con un 33,4% las lagunas que tienen un ancho máximo mayor a 0,03 km (valor mínimo medido) y menor a 0,20 km y con un 14,4% las que tienen entre 0,40 km y 0,60 km. El 85,2% de las lagunas están comprendidas en el rango de 0,03 km y 0,60 km. Si bien el ancho máximo medido es 3,10 km, sólo el 14,9% está en el rango de 0,60 km y 3,10 km, (Figura 4.7: B). La suma de todos los anchos máximos arroja 347,33 km.

En el tramo Sur, las lagunas más numerosas son las que tienen un ancho máximo entre 0,20 km y 0,40 km con el 39,7% del total, luego les siguen con un 26,9% las lagunas que tienen un ancho máximo mayor a 0,40 km y menor a 0,60 km y con un 12,8% las que tienen entre 0,15 km (valor mínimo medido) y 0,20 km. El 79,4% de las lagunas están comprendidas en el rango de 0,15 km y 0,60 km y el 88,4% entre 0,15 km y 0,80 km. Si bien el ancho máximo medido es 1,65 km, sólo el 11,6% está en el rango de 0,80 km y 1,65 km, (Figura 4.7: C). La suma de todos los anchos máximos arroja 37,8 km.

Ancho medio (a)

En la Tabla 4.18, se observa un mayor ancho medio, casi un 30% más en las lagunas del tramo Sur (0,34 km) y una igualdad en aquellas del Norte (0,22 km) y Centro (0,23 km). El valor mínimo es considerablemente mayor en el tramo Sur (0,05

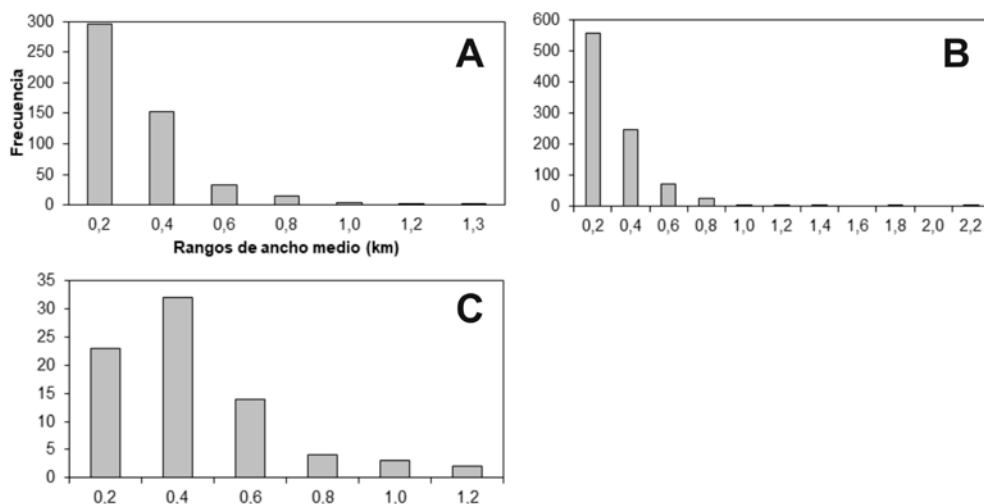
km), encontrándose en el tramo Centro el valor máximo del ancho medio (2,04 km).

Tabla 4.18: Estadística descriptiva del ancho medio en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	0,22 km	0,23 km	0,34 km
Mediana	0,17 km	0,17 km	0,30 km
Desvío estándar	0,174 km	0,202 km	0,229 km
Coefficiente de asimetría	2,05	3,31	1,32
Valor mínimo	0,01 km	0,03 km	0,05 km
Valor máximo	1,25 km	2,04 km	1,12 km
Suma anchos máximos total	109,9 km	210,22 km	26,4 km

En el tramo Norte, en la distribución de frecuencias, se observa una acumulación en el extremo inferior de la escala del rango, en donde el 58,7% de las lagunas tienen un ancho medio de 0,01 km (valor mínimo calculado) a 0,20 km y siguen aquellas lagunas de 0,20 km a 0,40 km con un 30,2%, lo que suma un 88,9%. Muy por debajo, con un 6,7% las lagunas con un ancho medio de 0,40 km a 0,60 km. El 98,6% de las lagunas tienen un ancho medio que va de 0,01 km a 0,80 km, restando 7 lagunas mayores a 0,80 km a 1,25 km, (Figura 4.8: A). La suma de todos los anchos medios arroja 109,9 km.

Figura 4.8: Histograma de frecuencias del ancho medio (km), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Centro, las lagunas más numerosas son las que tienen un ancho

medio entre 0,03 km (valor mínimo calculado) y 0,20 km con el 60,7% del total, luego les siguen con un 26,8% las lagunas que tienen un ancho medio mayor a 0,20 km y menor a 0,40 km y con un 8,0% las que tienen entre 0,40 km y 0,60 km. El 95,5% de las lagunas están comprendidas en el rango de 0,03 km y 0,60 km y el 98,2% entre 0,03 km y 0,80 km. Existen 13 lagunas en el rango 0,80 km y 1,40 km, sólo 2 entre 1,60 km y 1,80 km y sólo 1 laguna con 2,04 km de ancho medio, (Figura 4.8: B). La suma de todos los anchos medios arroja 210,22 km.

En el tramo Sur, las lagunas más numerosas son las que tienen un ancho medio entre 0,20 km y 0,40 km con el 41,0% del total, luego les siguen con un 29,5% las lagunas que tienen un ancho medio entre 0,05 km (valor mínimo calculado) y 0,20 km y con un 17,9% las que tienen entre 0,40 km y 0,60 km. El 88,4% de las lagunas están comprendidas en el rango de 0,05 km y 0,60 km y el 93,5% entre 0,05 km y 0,80 km, restando sólo 5 lagunas en el rango de 0,80 km a 1,20 km (Figura 4.8: C). La suma de todos los anchos medios arroja 26,4 km.

Profundidad máxima (z_m)

Existe un incremento del 60% en la profundidad máxima media en el tramo Sur (2,35 m) con respecto a los otros dos tramos (1,42 m en ambos tramos) y también un aumento de la profundidad máxima mínima de Norte a Sur (0,20 m, 0,25 m y 0,36 m, respectivamente; Tabla 4.19).

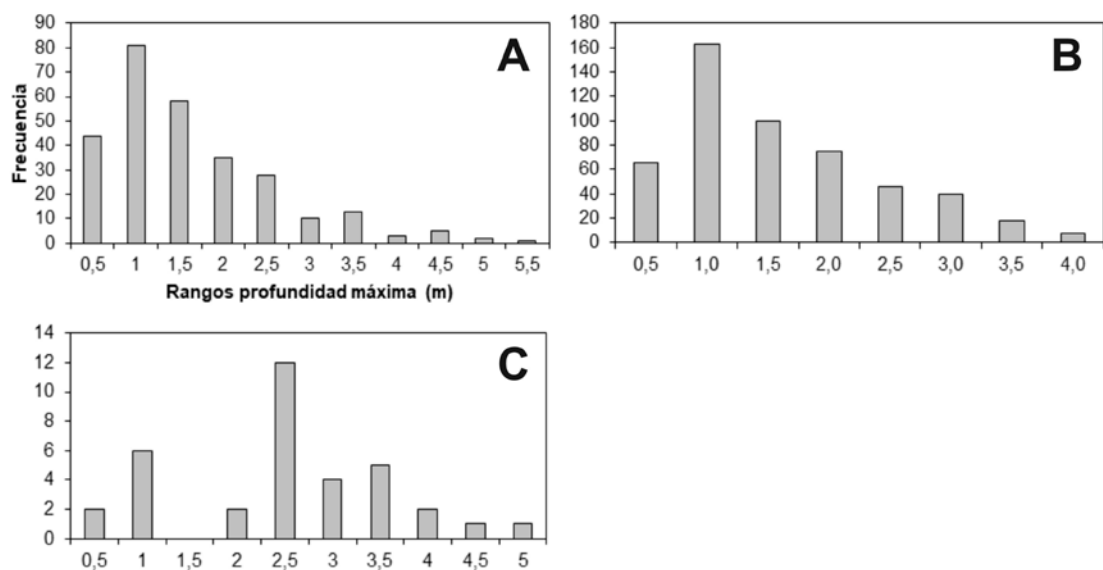
Tabla 4.19: Estadística descriptiva de la profundidad máxima en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=280)	Tramo Centro (n=515)	Tramo Sur (n=35)
Media aritmética	1,42 m	1,42 m	2,35 m
Mediana	1,15 m	1,20 m	2,40 m
Desvío estándar	0,990 m	0,858 m	1,108 m
Coeficiente de asimetría	1,29	0,84	0,08
Valor mínimo	0,20 m	0,25 m	0,36 m
Valor máximo	5,30 m	4,00 m	5,00 m
Suma profundidad máxima total	398,6 m	731,5 m	82,2 m

En el tramo Norte, las distribución de frecuencias muestra que el 28,9% de las lagunas tienen una profundidad máxima mayor a 0,50 m y menor a 1 m; le siguen aquellas lagunas mayor a 1m y menor a 1,50 m con el 20,7%, de 0,20 m (valor mínimo

medido) y menor a 0,50 m con el 15,7%, con un 12,5% mayor a 1,50 m y menor a 2 m y con un 10,0 % de 2 m a 2,50 m, lo que totaliza que el 87,8% de las lagunas tienen una profundidad máxima entre 0,20 m a 2,50 m y el 96,0% de 0,20 m a 3,50 m. Sólo 11 lagunas superan los 3,50 m, con una laguna de 5,50 m (Figura 4.9: A). La suma de todas las profundidades máximas es 398,6 m.

Figura 4.9: Histograma de frecuencias de la profundidad máxima (m), para 280 lagunas del tramo Norte (A), 515 lagunas del tramo Centro (B) y 35 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Centro, a distribución de frecuencias muestra que el 31,7% de las lagunas tienen una profundidad máxima mayor a 0,50 m y menor a 1 m, le siguen las lagunas mayor a 1m y menor a 1,50 m con el 19,4%, de 1,50 m a 2 m con un 14,6%, de 0,25 m (valor mínimo medido) y menor a 0,50 m con el 12,6%. El 87,2% de las lagunas tienen una profundidad máxima entre 0,25 m a 2,50 m y el 98,5% de 0,25 m a 3,50 m. Sólo 8 lagunas superan los 3,50 m a 4 m de profundidad máxima (Figura 4.9: B). La suma de todas las profundidades máximas arroja 731,5 m.

En el tramo Sur, la distribución de frecuencias se presenta con un máximo de 34,3% para lagunas mayores a 2,00 m hasta 2,50 m de profundidad máxima, siguen las lagunas de 0,50 m a 1,00 m con 17,1%, de 3,00 m a 3,50 m con 14,3% y de 2,50 m a 3,00 m con 11,4%. Con un 5,7% las lagunas con una profundidad máxima de 0,36 m (valor mínimo medido) a 0,50 m, de 1,50 m a 2,00 m y también aquellas con 3,50 m a 4,00 m. El rango de 0,36 m a 3,50 m agrupa el 88,5% de las lagunas. Solo 4 lagunas

tienen más de 3,50 m hasta 5,00 m de profundidad máxima (Figura 4.9: C). La suma de todas las profundidades máximas arroja 82,2 m.

4.2.3. Índices morfométricos

Expresan diversos aspectos de la forma de un cuerpo de agua, independientemente de su tamaño, se definen de modo que sean invariantes frente a cambios de tamaño permitiendo realizar comparaciones entre las lagunas. Se han considerado los siguientes índices morfométricos: relación longitud máxima y ancho máximo o índice de alargamiento (l_m/a_m), desarrollo de la línea de costa (D_L) y la profundidad relativa (z_r).

Relación longitud máxima y ancho máximo o índice de alargamiento

Este índice es un estimador del alargamiento de la forma de un cuerpo de agua que resulta del cociente de la longitud máxima (l_m) y el ancho máximo (a_m) de cada laguna. Como ejemplos geométricos se podrían citar un cuadrado que presenta un valor de 1; para un círculo es igual a 1; un rectángulo de lados "L" y "L/2" es igual a 2 y para formas más alargadas superan este último valor.

Este índice también se puede calcular con el ancho medio (a) que resulta del cociente entre el área de la laguna (A) y la longitud máxima (l_m). El ancho medio (a) es en general menor que el ancho máximo (a_m), por lo cual el índice de alargamiento arroja valores superiores al índice l_m/a_m . Por ello, resulta que l_m/a es una medida por exceso del alargamiento, mientras que l_m/a_m lo es por defecto, concluyendo que el alargamiento real de un cuerpo de agua quedaría en el rango entre ambos índices.

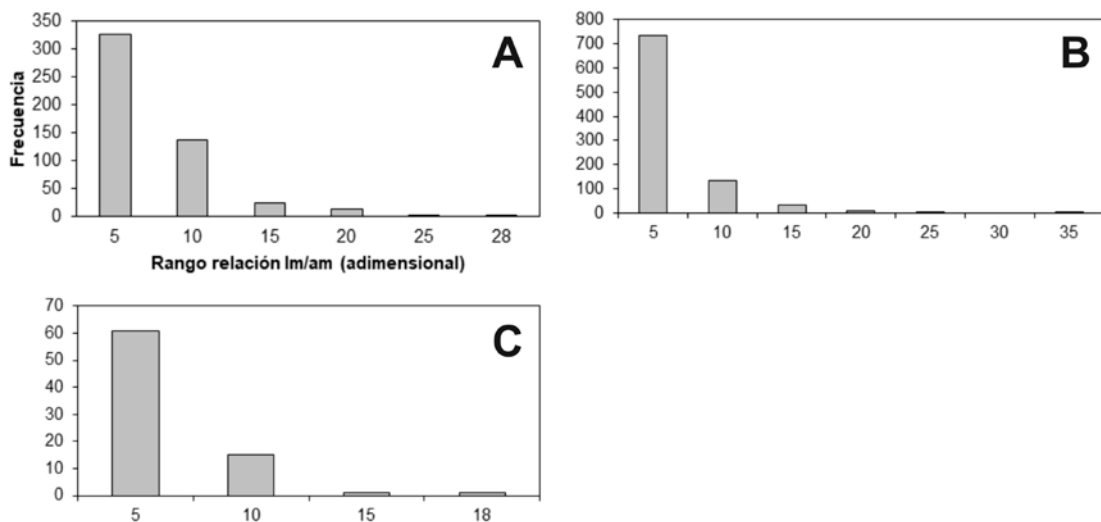
Se observa un mayor l_m/a_m medio en las lagunas del tramo Norte (5,09) con un decrecimiento de este índice hacia el Sur (3,87 y 3,70 en los tramos Centro y Sur, respectivamente; Tabla 4.20).

Tabla 4.20: Estadística descriptiva de la relación l_m/a_m en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	5,09	3,87	3,70
Mediana	4,00	2,87	2,75
Desvío estándar	3,954	3,253	2,851
Coefficiente de asimetría	2,28	3,00	2,13
Valor mínimo	1,00	1,00	1,00
Valor máximo	28,00	33,33	17,35

En el tramo Norte, en la distribución de frecuencias, se observa una acumulación en el extremo inferior de la escala del rango, en donde el 64,8% de las lagunas tienen una relación I_m/a_m de 1,00 (valor mínimo calculado) a 5,00 y siguen aquellas lagunas de 5,00 a 10,00 con un 27,3%, lo que suma un 92,1%. Muy por debajo, con un 4,6% las lagunas con un I_m/a_m de 10,00 a 15,00 y con 2,6% de 15,00 a 20,00. El 99,2% de las lagunas tienen un I_m/a_m que va de 1,00 a 20,00, restando 4 lagunas mayores a 20,00 a 28,00, (Figura 4.10: A).

Figura 4.10: Histograma de frecuencias de la relación I_m/a_m para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Centro, las lagunas más numerosas son las que tienen un I_m/a_m entre 0,92 (valor mínimo calculado) y 5 con el 80,0% del total, luego les siguen con un 14,6% las lagunas que tienen un I_m/a_m mayor a 5 y menor a 10 y con un 3,8% las que tienen entre 10 y 15. El 98,4% de las lagunas están comprendidas en el rango de 0,92 y 15. Existen 13 lagunas en el rango de 15 a 25 y sólo 1 con un I_m/a_m igual a 33,33 (Figura 4.10: B).

En el tramo Sur, las lagunas más numerosas son las que tienen un l_m/a_m entre 1,00 (valor mínimo calculado) y 5 con el 78,2% del total, luego les siguen con un 19,2% las lagunas que tienen un l_m/a_m mayor a 5 y menor a 10. El 97,4% de las lagunas están comprendidas en el rango de 1,00 y 10 de alargamiento, restando 2 lagunas en el rango mayor de 10 a 17,5 (valor máximo calculado; Figura 4.10: C).

Comparación de l_m/a_m y l_m/a en los tramos Norte, Centro y Sur

Como se mencionó anteriormente, el índice de alargamiento también se puede calcular con el ancho medio (a) que, en general es menor que el ancho máximo (a_m) (Tabla 4.21), por lo cual el índice de alargamiento arroja valores superiores al índice l_m/a_m , resultando acertado considerar que el alargamiento real de un cuerpo de agua quedaría en el rango entre ambos índices. Tal es así, que las lagunas del tramo Norte son las más alargadas al tener un alargamiento entre 5,09 y 8,38 comparadas con las del Centro (entre 3,87 y 6,26) y las del tramo Sur, entre 3,70 y 6,45. Se aprecia que las diferencias son levemente mayor entre estos índices (l_m/a_m y l_m/a) en el tramo Sur con respecto a los dos otros tramos.

Tabla 4.21: Valores medios de l_m/a_m y l_m/a de las lagunas en los tres tramos del río Paraná Medio (medias, diferencia en porcentaje y número de lagunas).

	Media a_m (km)	Media a (km)	Media l_m/a_m	Media l_m/a	Diferencia (%)	N° de lagunas
Tramo Norte	0,30	0,22	5,09	8,38	39,3	505
Tramo Centro	0,38	0,23	3,87	6,26	38,2	917
Tramo Sur	0,48	0,34	3,70	6,45	42,6	78

Desarrollo de la línea de costa (D_L)

El índice de desarrollo de la línea de costa (D_L) puede reflejar algunos aspectos de la forma del contorno de una laguna, como son la articulación, alargamiento o configuración con respecto a un círculo.

Diversos autores (Hutchinson, 1957; Timms, 1992) reconocen unas formas características de lagos, las cuales se asocian con determinados orígenes de éstos y que se pueden acotar mediante los siguientes rangos de valores de D_L :

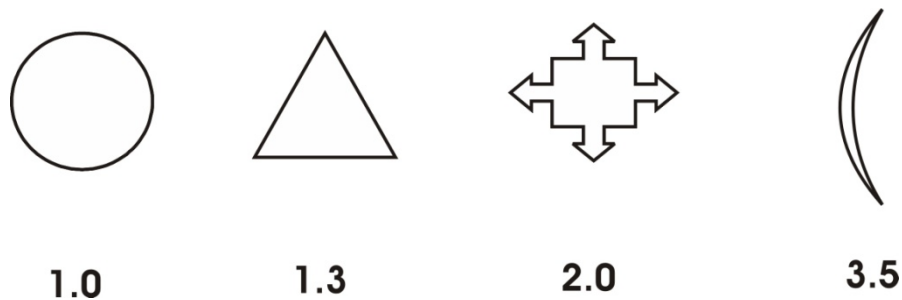
- Circular ($1 < D_L \leq 1,25$): lagos en conos volcánicos, dolinas perfectas, cubetas de

deflación pequeñas.

- Subcircular ($1,25 < D_L < 1,5$): lagos de circo, volcánicos, en dolinas, de deflación.
- Subrectangular alargado ($1,5 \leq D_L \leq 7,2$): lagos tectónicos, lagos glaciares de valle. Estos lagos tienen valores superiores a 3 (Cole, 1983).
- Dendrítico ($D_L > 3$): represamiento de un valle, como pueden ser embalses, lagos glaciares de piedemonte o laguna litoral marítimo.

El valor mínimo del D_L es 1, el cual corresponde a un círculo perfecto, resultando imposible encontrarlo en la naturaleza, pero si calcularlo en función de la escala con que se trabaje. El valor máximo de D_L no tiene un valor superior teórico, pero también estará en función de la escala. A pesar de que el D_L se aplica en gran medida en Limnología (Hutchinson, 1957; Håkanson, 1981; Timms, 1992). Paira y Drago (2007), a partir de la experiencia de campo y del análisis de más de 500 lagunas de espira de meandro, han encontrado que el D_L no es un parámetro fiable para inferir consistentemente en el grado de irregularidad de la línea de costa en lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio. En la Figura 4.11, se puede apreciar que las lagunas con forma de espira de meandro presentan valores de D_L elevados comparados con cuerpos de agua que podrían considerarse de forma irregular.

Figura 4.11: Representación gráfica del índice de desarrollo de la línea de costa (D_L) para cuatro formas hipotéticas de lagunas.



Considerando 1.500 lagunas, los cálculos del D_L resultaron con una media aritmética de 1,84; mediana de 1,65 y un desvío estándar de 0,766 (Tabla 4.22).

Tabla 4.22: Estadística descriptiva del índice de desarrollo de la línea de costa (D_L , adimensional), para 1.500 lagunas, nivel de confianza 95%.

Estadístico	adimensional
Media aritmética	1,84
Mediana	1,65
Desvío estándar	0,766
Coefficiente de asimetría	2,28
Valor mínimo	1,00
Valor máximo	9,27

En la Tabla 4.23, se observa casi una similitud de los valores del D_L en los tres tramos y levemente mayor en el tramo Centro: 1,92 (Norte: 1,71 y Sur: 1,69). Con respecto a los máximos de D_L , se aprecia una disminución de Norte hacia el Sur (9,27; 6,21 y 3,56; respectivamente).

Tabla 4.23: Estadística descriptiva del desarrollo de la línea de costa (D_L , adimensional) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95 %, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	1,71	1,92	1,69
Mediana	1,49	1,78	1,48
Desvío estándar	0,858	0,711	0,645
Coefficiente de asimetría	3,59	1,26	1,19
Valor mínimo	1,00	1,00	1,00
Valor máximo	9,27	6,21	3,56

Seguendo a Contreras y Paira (2015) se aplicó la clasificación del rango del índice D_L :

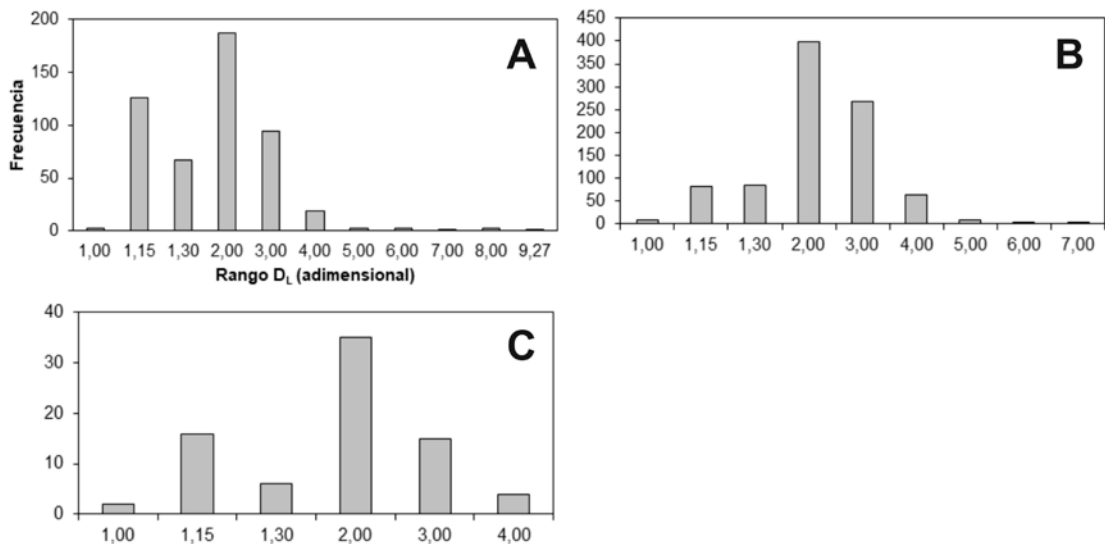
- Circulares: $1 \leq D_L \leq 1,15$
- Subcirculares: $1,15 < D_L \leq 1,30$
- Triangulares: $1,30 < D_L \leq 2,00$
- Irregulares: $D_L > 2,00$

De acuerdo al D_L medio, las lagunas en los tres tramos son de forma triangular.

La distribución de frecuencias en el tramo Norte muestra que el 37,0% de las lagunas tienen un D_L mayor a 1,30 y menor o igual a 2, le siguen aquellas lagunas con valor mayor a 1 y menor o igual a 1,15 con el 25,0%, con un 18,6% los cuerpos de agua con D_L mayor a 2 y menor o igual a 3, con un 13,3% de 1,15 a 1,30 y con un 3,8% aquellas lagunas de 3 a 4, y solo el 0,6% de ellas con un D_L igual a 1, lo que

totaliza que el 98,2% de las lagunas tienen un D_L en el rango de 1 a 4. Sólo 9 lagunas superan un D_L mayor a 4, (Figura 4.12: A).

Figura 4.12: Histograma de frecuencias del desarrollo de la línea de costa (D_L) para 505 lagunas del tramo Norte (A), 917 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Centro, la distribución de frecuencias muestra que el 43,5% de las lagunas tienen un D_L mayor a 1,30 y menor e igual a 2, le siguen las lagunas mayor a 2 y menor e igual a 3 con el 29,3%, de 1,15 a 1,30 baja al 9,2% de las lagunas. En el rango de 1,15 a 3 de D_L se encuentran el 90,8% de las lagunas y de 1 a 4 el 98,8%. Sólo 10 lagunas tienen un D_L entre 1,00 y 1,15 y 11 lagunas superan 4,00 de D_L llegando a 6,21 con solo una (Figura 4.12: B).

En el tramo Sur, la distribución de frecuencias representa que el 44,9% de las lagunas tiene un D_L mayor a 1,30 y menor e igual a 2,00, con un 20,5% para lagunas mayores a 1,00 hasta 1,15, con un 20,5% mayores a 1,00 a 1,15 y 19,2% de 2,00 a 3,00 de D_L . El rango de 1,00 a 3,00 agrupa el 94,9% de las lagunas. Solo 4 lagunas tienen más de 3,00 a 3,56 (valor máximo calculado; Figura 4.12: C).

Correlacionando linealmente al D_L con el índice de alargamiento (l_m/a_m), el perímetro (P) y la longitud máxima (l_m) en los tres tramos, se observa una mayor correlación entre todos estos parámetros en el tramo Sur (de 0,71, 0,54 y 0,54, respectivamente; Tabla 4.24).

Tabla 4.24: Valores de correlación lineal del D_L con el índice de alargamiento (I_m/a_m), el perímetro (P) y la longitud máxima (I_m) de las lagunas en los tres tramos del río Paraná Medio (Norte, Centro y Sur).

Correlación lineal	D_L & I_m/a_m	D_L & P	D_L & I_m
Tramo Norte	0,44	0,45	0,38
Tramo Centro	0,34	0,49	0,40
Tramo Sur	0,71	0,54	0,54

Profundidad relativa (z_r)

En la Tabla 4.25, se observa similitud en las profundidades relativas medias en los tres tramos (0,27%; 0,30% y 0,30%). En el tramo Sur, el valor máximo de profundidad relativa es la aproximadamente la mitad de los otros tramos y disminuyendo de Norte a Sur notablemente.

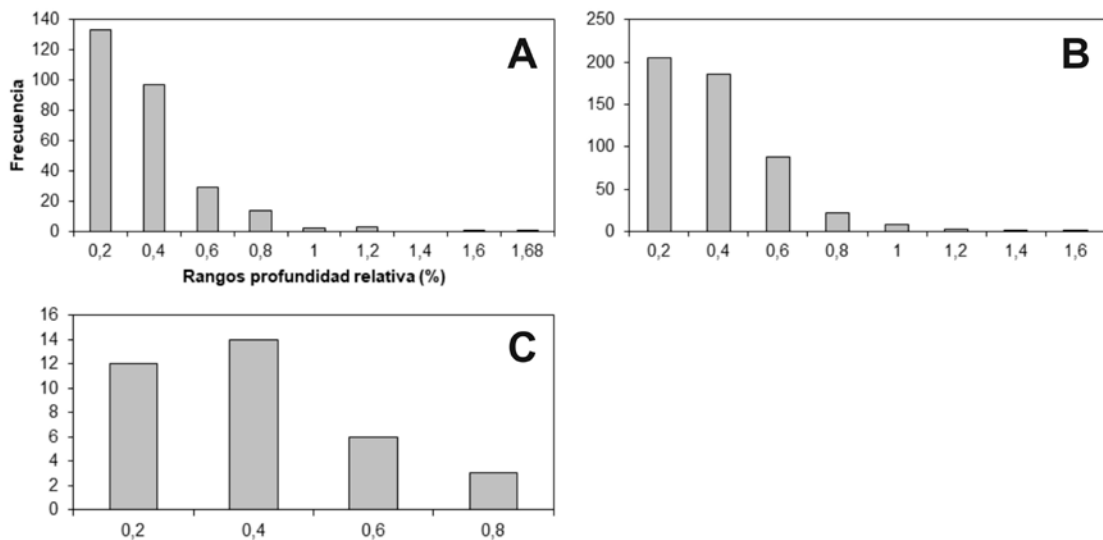
Tabla 4.25: Estadística descriptiva de la profundidad relativa en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=280)	Tramo Centro (n=515)	Tramo Sur (n=35)
Media aritmética	0,27 %	0,30 %	0,30 %
Mediana	0,21 %	0,24 %	0,25 %
Desvío estándar	0,219 %	0,209 %	0,173 %
Coefficiente de asimetría	2,59	1,84	1,17
Valor mínimo	0,04 %	0,03 %	0,06 %
Valor máximo	1,68 %	1,42 %	0,78 %

Las distribución de frecuencias en el tramo Norte muestra que el 47,5% de las lagunas tienen una profundidad relativa mayor a 0,04% (valor mínimo calculado) y menor a 0,20%, le siguen aquellas lagunas mayor a 0,20% y menor a 0,40% con el 34,6%, de 0,40% y menor a 0,60% con el 10,4% y el 5,0% de las lagunas en el rango de 0,6% a 0,8%, lo que totaliza que el 97,5% de las lagunas tienen una profundidad relativa de 0,04% a 0,80%. Sólo 7 lagunas superan el 0,80% de profundidad relativa, (Figura 4.13: A).

Figura 4.13: Histograma de frecuencias de la profundidad relativa (%), para 280 lagunas del tramo Norte (A), 515 lagunas del tramo Centro (B) y 35 lagunas del tramo

Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En el tramo Centro, la distribución de frecuencias muestra que el 39,8% de las lagunas tienen una profundidad relativa mayor a 0,03% (menor valor calculado) y menor a 0,20%, le siguen las lagunas de 0,20% a 0,40% con el 36,1%, de 0,40% a 0,60% con un 17,1% y de 0,60% a 0,80% con un 4,3% de las lagunas. El 97,3% de las lagunas tienen una profundidad relativa que oscila entre 0,03% a 0,80%. Catorce lagunas superan 0,80% a 1,42% de profundidad relativa, (Figura 4.13: B).

En el tramo Sur, la distribución de frecuencias presenta que el 34,3% de las lagunas tienen un rango entre 0,06% (valor mínimo calculado) y 0,20% de profundidad relativa, con un 40,0% aquellas con 0,20% a 0,40% y con 17,1% aquellas de 0,40% a 0,60%. El rango de 0,06% a 0,60% agrupa el 91,4% de las lagunas. Solo 3 lagunas tienen más de 0,60% hasta 0,78% de profundidad relativa (Figura 4.13: C).

Relación entre la profundidad relativa (z_r) y el área (A)

Según Cole (1983), en general, los cuerpos de agua pequeños tienen profundidad relativa mayores comparados con grandes lagos. Lagos profundos y de área pequeña tienen una profundidad relativa mayor a 4%, mientras que en aquellos con área grande y poca profundidad la profundidad relativa es menor a 2%. Analizando concretamente mediante ejemplos, un lago con un área de 10 km² y una profundidad máxima de 10 m tendrá idéntico valor de la profundidad relativa que uno de 0,1 km² y una profundidad de 1 m. La profundidad relativa puede ser utilizada para describir la estabilidad de la estratificación en los lagos (Håkanson, 1981), pero al ser poco profundos, en los cuerpos de agua del Paraná con profundidad relativa baja y en

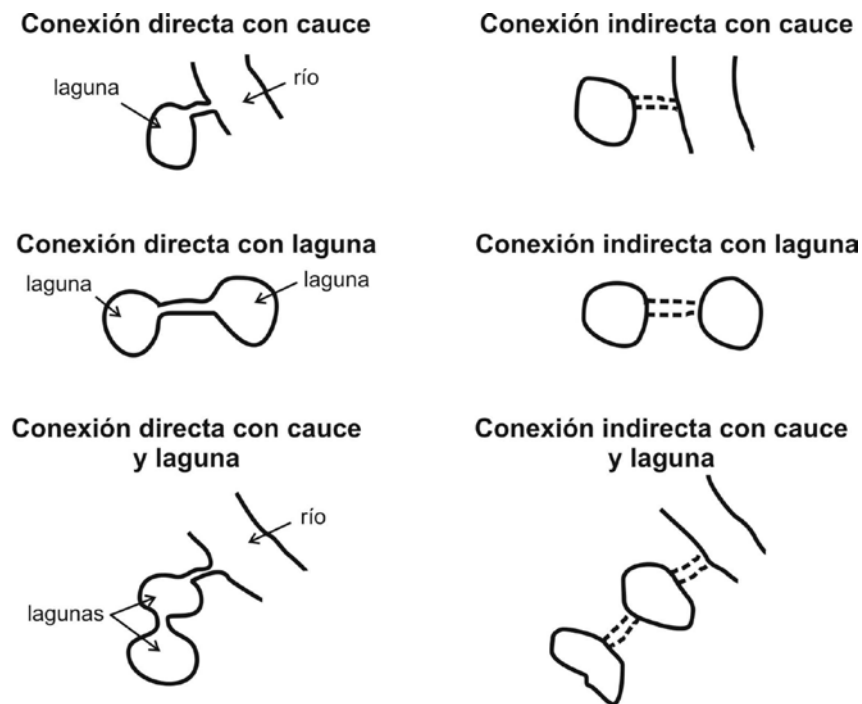
conjunción con el fetch están más comprometidos a la acción mecánica que ejerce el viento, en donde presentarán menor estabilidad de la estratificación y menor transparencia, entre otras (Paira y Drago, 2007).

4.3. Variables o condiciones de conectividad hidrológica

Número de tributarios (t) y emisarios (e) y conexiones lóaticas-leníticas

Como se mencionó en el Capítulo 3, las conexiones lóaticas-leníticas se refieren al tipo de conexión que presenta cada laguna con un cauce secundario y/o laguna. Se establecen tres tipos de conexiones, las *directas* o *conexión permanente*, las *indirectas* o *conexión temporaria* y las *aisladas* o *conexión por inundación* (Drago *et al.*, 2003 y Drago, 2007; Figura 4.14).

Figura 4.14: Tipos de conexiones lóaticas-leníticas. Fuente: Drago *et al.*, 2003 y Drago, 2007.



En el Paraná Medio, con relación a los cauces tributarios y emisarios, la media aritmética revela que las lagunas presentan un tributario o emisario y la mediana tiene un valor de 1,0. Además, casi la mitad de las lagunas no tienen cauces tributarios y/o emisarios y la cuarta parte de ellas solo uno (Paira, 2003).

Trabajando con cada tramo y comenzando con el Norte, la media aritmética

arroja un valor de 0,7 tributarios y/o emisarios, esto es menos de un tributario y/o emisario por laguna, siendo la mediana igual a cero. El mínimo número de tributarios y/o emisarios es 0 y el máximo es 8. La cantidad de tributarios y/o emisarios contabilizados son 362 para las 505 lagunas estudiadas (Tabla 4.26).

Tabla 4.26: Estadística descriptiva del número de tributarios y emisarios en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=917)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	0,7	1,3	1,8
Mediana	0	1,0	2,0
Desvío estándar	1,08	1,48	1,31
Coefficiente de asimetría	2,20	1,64	0,92
Valor mínimo	0	0	0
Valor máximo	8	10	7
Suma total	362	1188	139

En el tramo Centro, la media aritmética es 1,3 tributarios y/o emisarios y la mediana es 1,0. El mínimo número de tributarios y/o emisarios es 0 y el máximo es 10. La cantidad de tributarios y/o emisarios suman 1188 para las 917 lagunas (Tabla 4.26).

En el tramo Sur, la media aritmética es 1,8 tributarios y/o emisarios y la mediana es 2,0. El mínimo número de tributarios y/o emisarios es 0 y el máximo es 7. La cantidad de tributarios y/o emisarios suman 139 para las 78 lagunas (Tabla 4.26).

Realizando un análisis de la conectividad asociada a las fases hidrológicas en los tres tramos (Tabla 4.27), se observa el incremento hacia aguas abajo de las conexiones directas de las lagunas con un cauce y con otra laguna y ambas a la vez, como también el decrecimiento de las conexiones indirectas y aisladas. En lo particular, en el tramo Norte la baja conectividad morfológica (Drago, 2007) de los ambientes leníticos reflejada por el bajo porcentaje (17,0%) de conexión directa permanente a un cauce y también con cauce y laguna (7,5%). A su vez, el elevado porcentaje (83,0%) de lagunas que se empiezan a conectar solo cuando el río entra en la fase de creciente. Es muy bajo el porcentaje de lagunas aisladas y decrecientes de Norte a Sur (2,4%, 1,5% y 0%), las cuales se conectan al sistema sólo durante los picos de las fases de desborde del río, a través del agua que escurre por la inundación de la llanura.

Tabla 4.27: Porcentajes de lagunas de acuerdo a la conectividad en los tres tramos del río Paraná Medio.

Tipo de conexión lagunar	Tramo Norte (%)	Tramo Centro (%)	Tramo Sur (%)
Conexión directa a un cauce	17,0	46,3	53,8
Conexión directa a una laguna	43,0	40,0	60,3
Conexión directa con un cauce y con una laguna	7,5	22,6	32,1
Conexión indirecta a un cauce	83,0	53,2	46,2
Conexión indirecta a una laguna	54,7	58,8	41,0
Conexión indirecta con un cauce y con una laguna	44,8	36,3	15,4
Aislada	2,4	1,5	0

Distancias al cauce principal y a un cauce secundario

La distancia mínima al cauce principal y a un cauce secundario es igual a cero, debido a que existen lagunas próximas o con conexión directa tanto al cauce principal del río Paraná como a los distintos cauces secundarios que escurren dentro de su llanura aluvial. También existen algunas lagunas, a las que no se les midió la distancia al cauce principal o a un cauce secundario, debido a que no había una secuencia o continuidad en el vuelo en la toma de las fotografías aéreas, lo cual dificultó la medición.

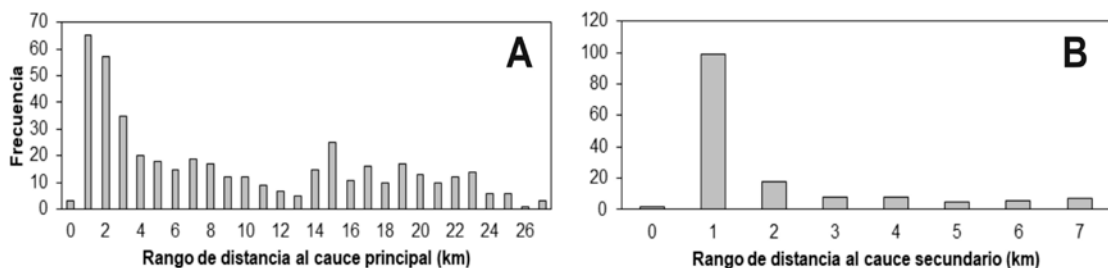
Las distancias de las lagunas al cauce principal y a un cauce secundario, en el tramo Norte presentan una media aritmética de 9,00 km y 1,42 km, con distancias al cauce principal y cauce secundario mínimas de cero y máximas de 26,7 km y 7,00 km, respectivamente (Tabla 4.28).

Tabla 4.28: Estadística descriptiva de las distancias al cauce principal (km; para 453 lagunas) y a un cauce secundario (km; para 154 lagunas) en el tramo Norte del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%.

Estadístico	Distancia al cauce principal	Distancia a un cauce secundario
Media aritmética	9,00 km	1,42 km
Mediana	6,70 km	0,63 km
Desvío estándar	7,741 km	1,810 km
Coficiente de asimetría	0,50	1,70
Valor mínimo	0 km	0 km
Valor máximo	26,70 km	7,00 km

En el tramo Norte, la mayor cantidad de lagunas, el 14,3% del total, son las que están ubicadas entre 0 y 1 km de distancia al cauce principal, siguiendo con un 12,6% aquellas ubicadas entre 1 y 2 km y con un 7,7% las ubicadas de 2 a 3 km. La distribución de frecuencias continúa con porcentajes del 5,5% al 0,2% para el resto de las distancias que van de 3 a 26,7 km (Figura 4.15: A). El 0,7% del total de las lagunas tienen conexión directa con el río Paraná y 35,3% se encuentran ubicadas hasta 3 km del cauce principal. Con respecto a la distancia a un cauce secundario, el 64,7% de las lagunas se encuentran entre 0 y 1 km de distancia al mismo, el 11,8% de 1 a 2 km y el 5,2% de 2 a 3 km y también de 3 a 4 km. El 77,8% de las lagunas se encuentran ubicadas entre 0 y 2 km de distancia a un cauce secundario y el 83,0% hasta 3 km (Figura 4.15: B).

Figura 4.15: Histograma de frecuencias de las distancias al cauce principal (km; A) y al cauce secundario (km; B) para 453 lagunas y 153 lagunas, respectivamente, en el tramo Norte del valle aluvial del Río Paraná Medio.



Se puede resaltar en este tramo Norte que la mayor cantidad de lagunas se encuentran en la llanura aluvial acompañando a los cauces secundarios (64% de las lagunas hasta 1 km de distancia) con respecto al Paraná (14,3%).

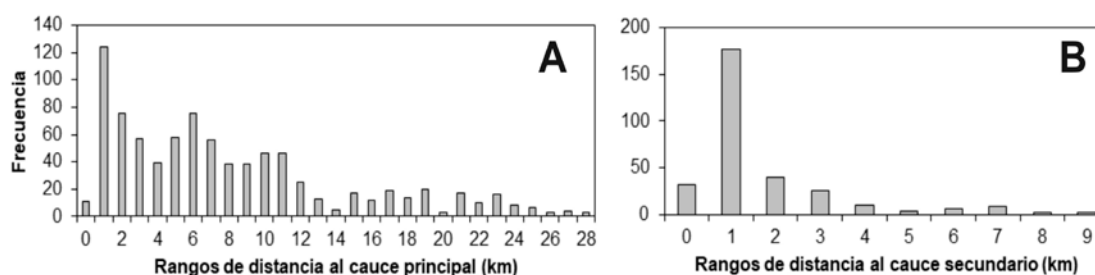
En el tramo Centro, las distancias de las lagunas al cauce principal y a un cauce secundario, presentan una media aritmética de 7,79 km y 1,17 km respectivamente. La distancia mínima al cauce principal y a un cauce secundario es cero y la máxima es 28,00 km y 8,50 km (Tabla 4.29).

Tabla 4.29: Estadística descriptiva de las distancias al cauce principal (km; para 861 lagunas) y a un cauce secundario (km; para 306 lagunas) en el tramo Centro del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%.

Estadístico	Distancia al cauce principal	Distancia a un cauce secundario
Media aritmética	7,79 km	1,17 km
Mediana	6,00 km	0,40 km
Desvío estándar	6,716 km	1,713 km
Coficiente de asimetría	0,98	2,20
Valor mínimo	0 km	0 km
Valor máximo	28,00 km	8,50 km

En este tramo Centro, la mayor cantidad de lagunas, el 14,4% del total, son las que están ubicadas entre 0 y 1 km de distancia al cauce principal, siguiendo con un 8,8% aquellas ubicadas entre 1 km y 2 km y entre 5 km y 6 km, con un 6,7% las ubicadas entre 4 km y 5 km, con 6,6% las ubicadas entre 2 km y 3 km y con 6,5% entre 6 y 7 km. La distribución de frecuencias continúa con porcentajes del 5,3% al 0,3% para el resto de las distancias (Figura 4.16: A). El 1,3% del total de las lagunas tienen conexión directa con el río Paraná y el 31,1% se encuentran ubicadas hasta 3 km del cauce principal. Con respecto a la distancia a un cauce secundario, el 10,5% de las lagunas están con conexión directa (distancia igual a cero), el 57,8% de las lagunas se encuentran entre 0 y 1 km de distancia al mismo, el 13,1% de 1 a 2 km y el 8,2% a una distancia de 2 a 3 km. El 81,4% de las lagunas se encuentran ubicadas entre 0 y 2 km de distancia a un cauce secundario y el 89,5% hasta 3 km (Figura 4.16: B).

Figura 4.16: Histograma de frecuencias de las distancias al cauce principal (km; A) y al cauce secundario (km; B) para 861 lagunas y 306 lagunas, respectivamente, en el tramo Centro del valle aluvial del Río Paraná Medio.



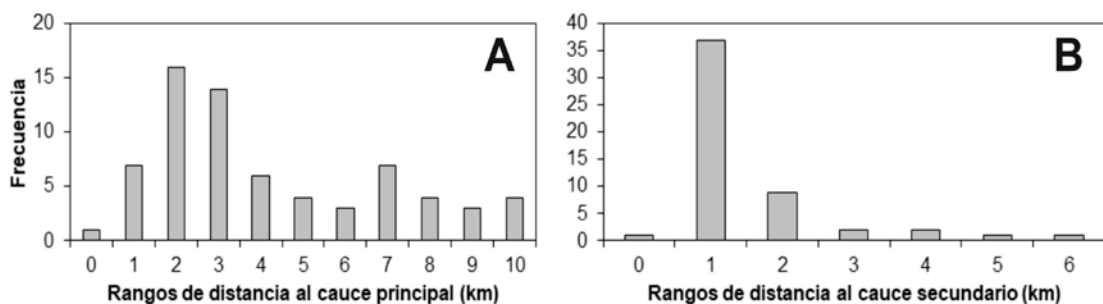
Las distancias de las lagunas al cauce principal y a un cauce secundario, en el tramo Sur presentan una media aritmética de 3,86 km y 1,09 km respectivamente. La distancia al cauce principal y cauce secundario mínima es cero y 0,05 y la máxima es 10,0 km y 5,65 km, respectivamente (Tabla 4.30).

Tabla 4.30: Estadística descriptiva de las distancias al cauce principal (km; para 69 lagunas) y a un cauce secundario (km; para 53 lagunas) en el tramo Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95 %.

Estadístico	Distancia al cauce principal	Distancia a un cauce secundario
Media aritmética	3,86 km	1,09 km
Mediana	3,00 km	0,70 km
Desvío estándar	2,751 km	1,331 km
Coficiente de asimetría	0,68	2,11
Valor mínimo	0 km	0,05 km
Valor máximo	10,00 km	5,65 km

La mayor cantidad de lagunas, el 23,2% del total, son las que están ubicadas entre 1 km y 2 km de distancia al cauce principal, siguiendo con un 20,3% aquellas ubicadas entre 2 km y 3 km, con un 10,1% las ubicadas de 0 a 1 km y también de 6 km a 7 km y con 8,7% de 3 km a 4 km. Las lagunas conectadas directamente al río Paraná abarcan sólo el 1,4%. La distribución de frecuencias continúa con porcentajes del 5,8% al 1,4% para el resto de las distancias. El 1,4% del total de las lagunas tienen conexión directa al río Paraná y el 55,1% se encuentran ubicadas hasta 3 km del cauce principal (Figura 4.17: A). Con respecto a la distancia a un cauce secundario, el 1,9% de las lagunas tienen conexión directa, el 69,8% se encuentran entre 0 y 1 km de distancia al mismo, el 17,0% de 1 km a 2 km y el 3,8% de 2 km a 3 km, de 3 km a 4 km y de 5 km a 6 km. El 86,8% de las lagunas se encuentran ubicadas hasta 2 km de distancia a un cauce secundario y el 90,6% hasta 3 km (Figura 4.17: F).

Figura 4.17: Histograma de frecuencias de las distancias al cauce principal (km; A) y al cauce secundario (km; B) para 69 lagunas y 53 lagunas, respectivamente, en el tramo Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En este tramo Sur, al igual que los anteriores, el mayor porcentaje de lagunas son las que se encuentran ubicadas hasta 1 km de un cauce secundario con el 69,8%. Con respecto al río Paraná, el mayor porcentaje de lagunas (23,2%) son las que se encuentran a una distancia de 1 a 2 km de éste, posiblemente debido a la neotectónica asociada a la unidad de Deltas de Tributarios (Iriondo, 2007).

El Río Paraná es el eje fluvial del sistema estudiado en donde las lagunas siempre tienen una ubicación determinada con respecto al mismo, pero con respecto a la distancia de cada laguna con algún cauce secundario, se observa que en los tramos Sur y Centro se encuentran más cercanas a éstos (Tablas 4.28, 4.29 y 4.30).

4.4. Variables de vegetación

Cobertura de la vegetación acuática (CVA)

La cobertura de la vegetación acuática es levemente mayor en el tramo Norte en valores medios (43,9%; 33,6% en el Centro y 40,9% en el Sur) y más marcada aún la mediana (40,0%; 20,0% y 17,5% en los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente), debido posiblemente a condiciones climatológicas favorables para el desarrollo de la misma. En los tres tramos el cubrimiento de la vegetación acuática varía de 0% a 100% (Tabla 4.31).

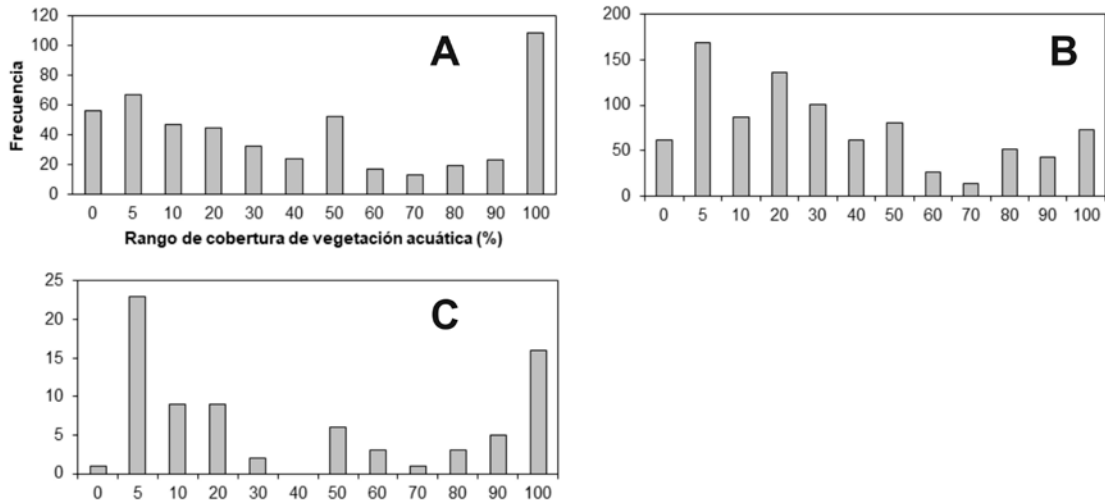
Tabla 4.31: Estadística descriptiva de la cobertura de vegetación acuática (%) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=901)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	43,9 %	33,6 %	40,9 %
Mediana	40,0 %	20,0 %	17,5 %
Desvío estándar	37,5 %	31,3 %	39,5 %
Coefficiente de asimetría	0,33	0,81	0,48
Valor mínimo	0 %	0 %	0 %
Valor máximo	100 %	100 %	100 %

En el tramo Norte, el 11,1% de las lagunas no tiene vegetación acuática en su superficie, el 13,3% sólo tiene el 5% de su superficie ocupada por macrófitas, el 10,3% la mitad de su superficie y el 21,6% la totalidad de su espejo de agua. Un tercio de las lagunas (33,7%) tiene una cobertura de macrófitas que va del 0% al 10% de su superficie, el 42,7% de las lagunas del 0% al 20%, el 64,1% de 0% a 50% y las tres

cuartas partes (73,8%) de 0% a 80% (Figura 4.18: A).

Figura 4.18: Histograma de frecuencias de la cobertura de la vegetación acuática (%), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 901 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



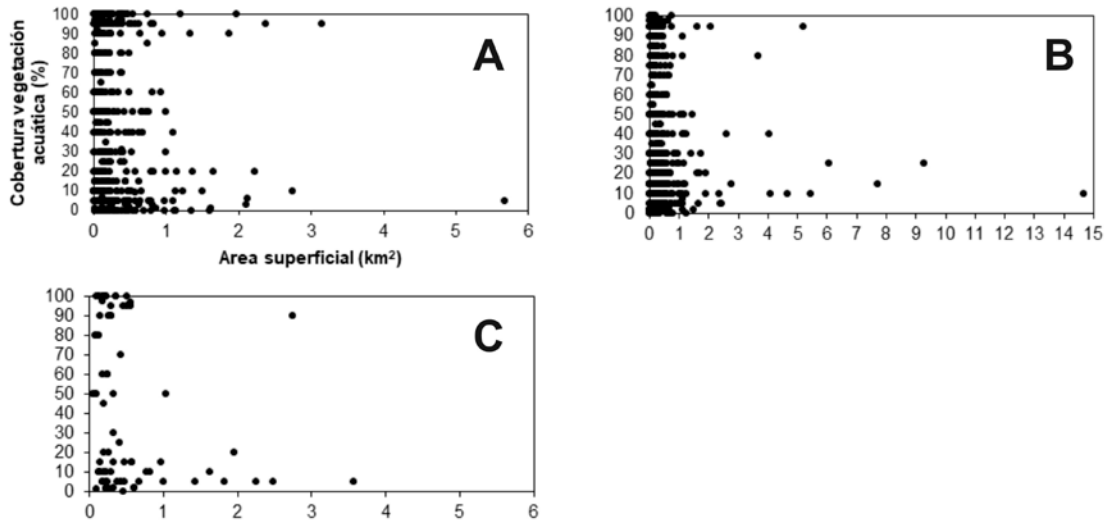
En el tramo Centro, el 6,8% de las lagunas están libres de vegetación acuática, el 18,8% tiene un 5% de su área con vegetación, el 8,9% tiene la mitad de su superficie cubierta con vegetación acuática y el 8,1% tiene toda su superficie cubierta. Un tercio de las lagunas (35,2%) tienen de 0% a 10% cubiertas con vegetación acuática, la mitad de las lagunas (50,3%) poseen de 0% a 20% con vegetación y las tres cuartas partes de las lagunas poseen de 0% a 50% de su espejo de agua cubierto con vegetación acuática (Figura 4.18: B).

En el tramo Sur, el 1,3% de las lagunas están libres de vegetación acuática, el 29,5% tiene un 5%, el 7,7% tiene la mitad y el 20,5% tiene toda su superficie cubierta. Casi un tercio (30,8%) de las lagunas tienen de 0% a 5% cubiertas con vegetación acuática, un poco más de la mitad de las lagunas (53,8%) poseen de 0% a 20% y las tres cuartas partes (73,1%) tienen de 0% a 80% cubiertas (Figura 4.18: C).

Con respecto al área superficial y la cobertura de vegetación acuática en la superficie lagunar, en ninguno de los tramos (Norte, Centro y Sur) se encontró correlación lineal entre ambas, siendo los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos igual a 0,0089; 0,0018 y 0,0491; respectivamente. No obstante, se observó que en aquellas lagunas con un área menor o igual a 1 km², resultando el 95,0% de las lagunas en el tramo Norte, el 96,2% en el Centro y 89,7% en el Sur, hay una variación

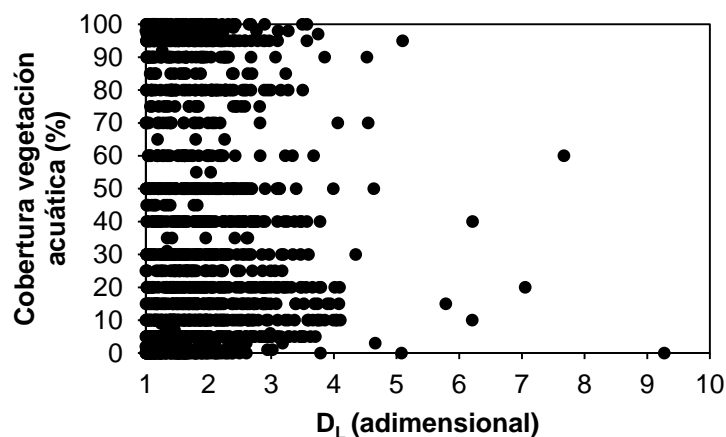
en el rango de la cobertura de vegetación acuática entre 0 a 100% (Figura 4.19).

Figura 4.19: Cobertura de la vegetación acuática y el área superficial para 505 lagunas del tramo Norte (A), 901 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.



En lo que respecta a la relación entre la cobertura de vegetación acuática y el índice de desarrollo de la línea de costa, para 1.500 lagunas de todo el tramo medio del río Paraná no se encontró correlación lineal entre ambas, siendo el coeficiente de determinación (R^2) obtenido igual a 0,0013. No obstante, se observó que en aquellas lagunas con un D_L menor a 4, hay una variación en el rango de la cobertura de vegetación acuática entre 0 a 100% (Figura 4.20).

Figura 4.20: Cobertura de la vegetación acuática (%) y el desarrollo de la línea de costa (D_L) para 1.500 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.



Distribución perimetral de árboles (DPA)

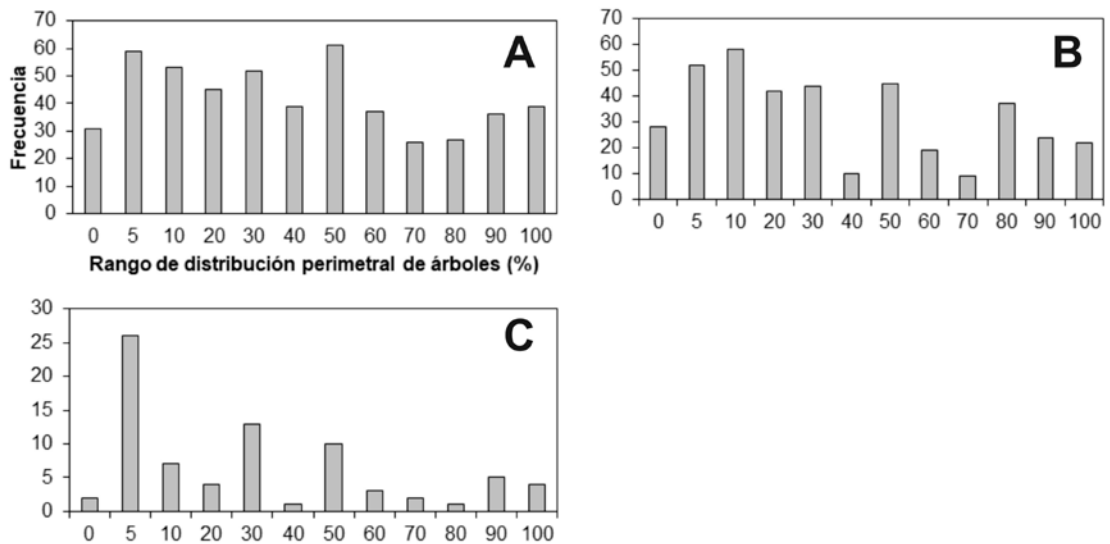
En la Tabla 4.35, se observa un decrecimiento en la distribución de árboles en el perímetro de las lagunas desde el tramo Norte hacia el Sur observado en la media (41,6%; 36,7% y 30,4%; respectivamente) y la mediana (40,0%; 25,0% y 22,5%; respectivamente). En los tres tramos los árboles desarrollados en el perímetro lagunar varía prácticamente de 0% a 100% (Tabla 4.32).

Tabla 4.32: Estadística descriptiva de la distribución perimetral de árboles (%) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=390)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	41,6 %	36,7 %	30,4 %
Mediana	40,0 %	25,0 %	22,5 %
Desvío estándar	31,5 %	31,7 %	29,8 %
Coefficiente de asimetría	0,37	0,58	0,95
Valor mínimo	0 %	0 %	0 %
Valor máximo	100 %	100 %	98 %

En el tramo Norte, 6,1% de las lagunas no tiene árboles en su perímetro, el 11,7% de ellas sólo tiene el 5% de su perímetro ocupado, el 12,1% la mitad de su perímetro y el 7,7% la totalidad de su contorno. Una cuarta parte de las lagunas (28,3%) tienen de 0% hasta el 10% de su perímetro ocupado por árboles, más de la mitad de las lagunas tienen de 0% a 40% y las tres cuartas partes hasta el 60% de su contorno (Figura 4.21: A). Estos árboles conforman los bosques en galería que se desarrollan sobre los albardones de los cauces de la llanura aluvial del río Paraná Medio.

Figura 4.21: Histograma de frecuencias de la distribución perimetral de árboles (%), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 901 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.

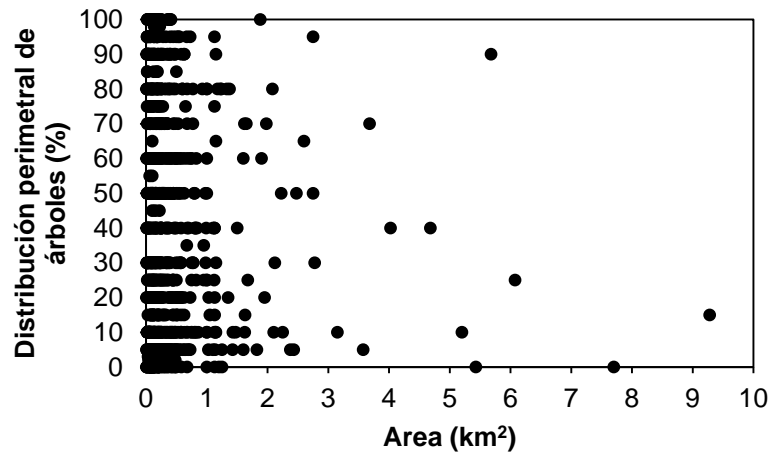


En el tramo Centro el 7,2% de las lagunas no tiene árboles en su perímetro, el 13,3% de ellas sólo tiene el 5% de su perímetro ocupado, el 11,5% la mitad de su perímetro y el 5,6% la totalidad de su contorno. Un poco más de la tercera parte de las lagunas (35,4%) tienen de 0% hasta el 10% de su perímetro ocupado por árboles, más de la mitad de las lagunas (el 57,4%) tienen de 0% a 30% y las tres cuartas partes (el 76,4%) hasta el 60% de su contorno (Figura 4.21: B).

En el tramo Sur, el 2,6% de las lagunas no tiene árboles en su perímetro, el 33,3% de ellas sólo tiene el 5% de su perímetro ocupado, el 12,8% la mitad de su perímetro y el 5,1% la totalidad de su contorno. Un poco más de la tercera parte de las lagunas (el 35,9%) tienen de 0% hasta el 5% de su perímetro ocupado por árboles, casi la mitad de las lagunas (el 44,9%) tienen de 0% a 10% y casi las dos terceras partes (el 66,7%) hasta el 30% de su contorno (Figura 4.21: C).

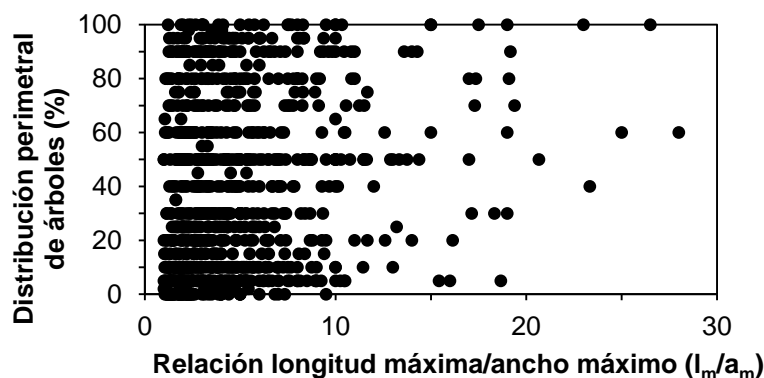
Considerando la totalidad de las lagunas en los tres tramos (Norte, Centro y Sur), no se encontró correlación lineal entre el área superficial de las lagunas y la distribución de árboles en el perímetro lagunar, siendo el coeficiente de determinación (R^2) obtenido igual a 0,002. Se observa que en aquellas lagunas con un área hasta 1 km² aproximadamente, la variación de la distribución de árboles abarca desde 0%, o sea sin árboles, hasta cubrir todo el contorno lagunar (Figura 4.22).

Figura 4.22: Distribución perimetral de árboles (%) y el área (km²), para 973 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.



Con relación a la distribución de árboles en el perímetro lagunar y la relación longitud máxima/ancho máximo, no existe una correlación buena ($R^2 = 0,052$). Lo que sí se puede inferir, que las lagunas con una relación longitud máxima/ancho máximo entre 1 y 10 (que representan el 92,1%, el 94,9% y el 94,5% de los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente), la distribución de árboles en el perímetro lagunar varía de 0% a 100% (Figura 4.23).

Figura 4.23: Distribución perimetral de árboles (%) y la relación longitud máxima/ancho máximo (l_m/a_m , adimensional), para 973 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.



Distribución perimetral de arbustos (DPa)

En la Tabla 4.33, se observa en el tramo Sur una media levemente mayor (69,1%) con respecto al tramo del Centro (68,9%) y mayor aún con respecto al Norte (57,0%) en la distribución de arbustos en el perímetro lagunar. La mediana fue mayor en todos los tramos con respecto a la media, comprobado también por la asimetría

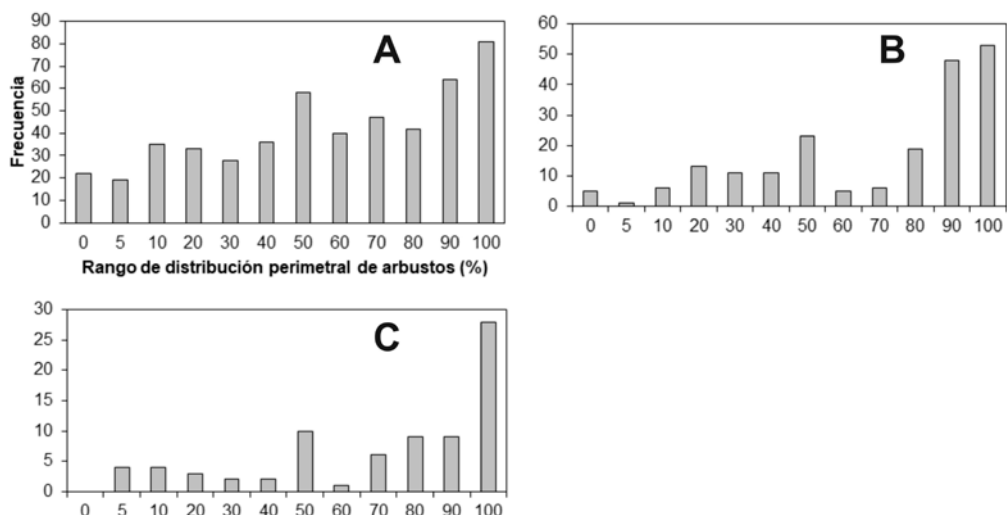
negativa. La mediana en el tramo Centro es muy superior a los otros tramos (85,0%), siguiéndole el Sur (77,5%) y luego el Norte (60,0%). En los tres tramos la distribución de arbustos en el perímetro varía de 0% a 100%.

Tabla 4.33: Estadística descriptiva de la distribución perimetral de arbustos (%) en los tramos Norte, Centro y Sur del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%, n: número de lagunas.

Estadístico	Tramo Norte (n=505)	Tramo Centro (n=201)	Tramo Sur (n=78)
Media aritmética	57,0 %	68,9 %	69,1 %
Mediana	60,0 %	85,0 %	77,5 %
Desvío estándar	31,7 %	30,2 %	30,5 %
Coficiente de asimetría	-0,32	-0,76	-0,93
Valor mínimo	0 %	0 %	0 %
Valor máximo	100 %	100 %	100 %

En el tramo Norte el 4,4% de las lagunas no tiene arbustos en su perímetro, el 3,8% de ellas sólo tiene el 5% de su perímetro ocupado, el 11,5% la mitad de su perímetro y el 16,0% la totalidad de su contorno. Una cuarta parte de las lagunas (27,1%) tienen de 0% hasta el 30% de su perímetro ocupado por arbustos, la mitad de las lagunas (53,7%) tienen de 0% a 60% y casi las tres cuartas partes (71,3%) hasta el 80% de su contorno (Figura 4.24: A).

Figura 4.24: Histograma de frecuencias de la distribución perimetral de arbustos (%), para 505 lagunas del tramo Norte (A), 201 lagunas del tramo Centro (B) y 78 lagunas del tramo Sur (C) del valle aluvial del Río Paraná Medio.

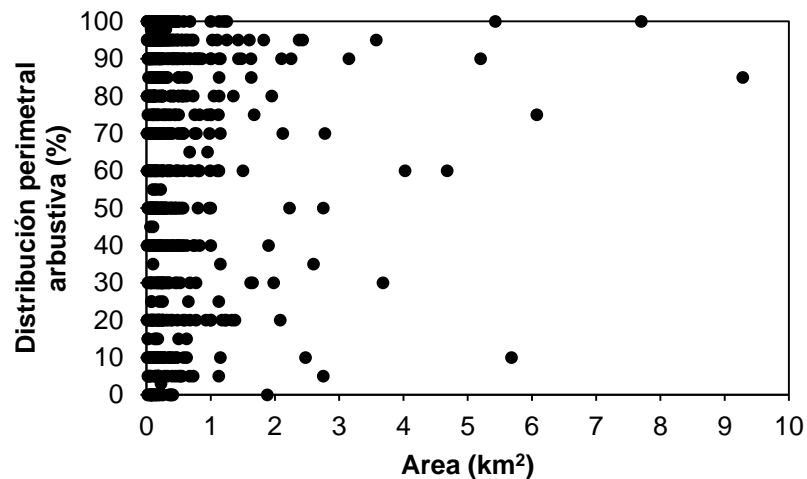


En el tramo Centro, el 2,5% de las lagunas no tiene arbustos en su perímetro, el 11,4% tiene la mitad de su perímetro ocupado y el 26,4% la totalidad de su contorno. Casi la cuarta parte de las lagunas (22,4%) tienen de 0% hasta el 40% de su perímetro ocupado por arbustos, la mitad de las lagunas (el 49,8%) tienen de 0% a 80% y las tres cuartas partes (el 73,6%) hasta el 90% de su contorno (Figura 4.24: B).

En el tramo Sur, ninguna laguna no tiene arbustos en su perímetro, el 5,1% de ellas sólo tiene el 5% de su perímetro ocupado, el 12,8% la mitad de su perímetro y el 35,9% la totalidad de su contorno. Casi la tercera parte de las lagunas (el 33,3%) tienen de 0% hasta el 60% de su perímetro ocupado por arbustos, la mitad de las lagunas (el 52,6%) tienen de 0% a 80% y las dos terceras partes (el 64,1%) hasta el 90% de su contorno (Figura 4.24: C).

Considerando la totalidad de las lagunas en los tres tramos (Norte, Centro y Sur), no se encontró correlación lineal entre el área superficial de las lagunas y la distribución de arbustos en el perímetro lagunar, siendo el coeficiente de determinación (R^2) obtenido igual a 0,001. Se observa en la Figura 4.25 que en aquellas lagunas con un área hasta 1 km² aproximadamente, la variación de la distribución de arbustos abarca desde 0%, o sea sin arbustos, hasta completar todo el contorno lagunar.

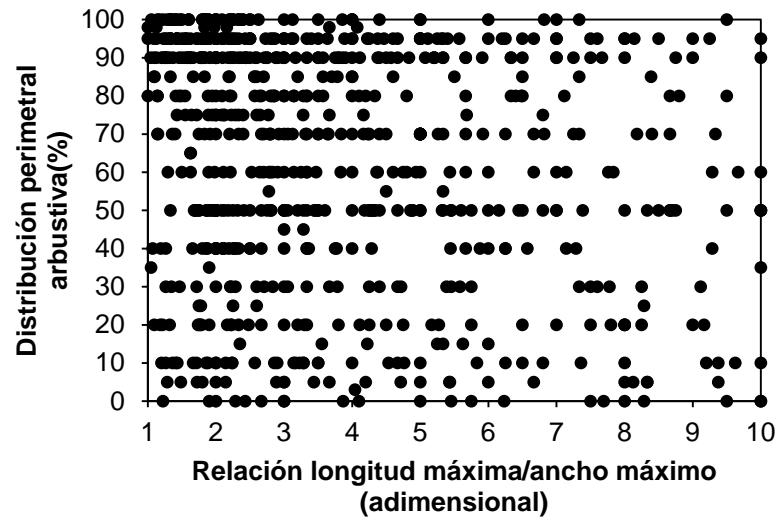
Figura 4.25: Distribución perimetral de arbustos (%) y el área (km²), para 784 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.



Con relación a la distribución de arbustos en el perímetro lagunar y la relación longitud máxima/ancho máximo, no existe una correlación buena ($R^2 = 0,06$). Lo que se puede inferir, que las lagunas con una relación longitud máxima/ancho máximo entre 1 y 10 (que representan el 100%), la distribución de arbustos en el perímetro

lagunar varía de 0% a 100% (Figura 4.26).

Figura 4.26: Distribución perimetral de arbustos (%) y la relación longitud máxima/ancho máximo (adimensional), para 784 lagunas de la llanura aluvial del río Paraná Medio.



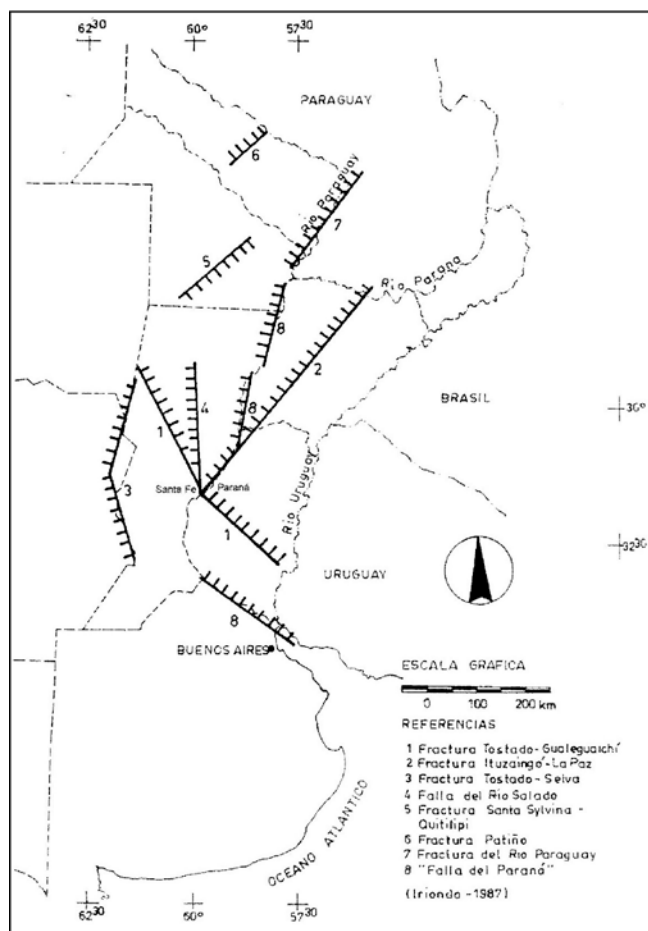
Capítulo 5: Las lagunas y las Unidades Geomorfológicas

5.1. Unidades Geomorfológicas de la planicie del Río Paraná Medio

Se describen aquí las Unidades Geomorfológicas identificadas en el tramo medio del Río Paraná con el objetivo de estudiar su eventual asociación con los parámetros morfométricos y la morfología de las lagunas aluviales. La meta contempla lo previsto en el primer objetivo específico de esta tesis.

El Río Paraná en su tramo medio, desarrolla su valle en una fosa tectónica muy compleja, debido a la existencia de lineamientos con varias direcciones y, si bien el valle mayor tiene una disposición marcadamente submeridiana, existen fallas de mayor ángulo, incluso otras transversales que delimitan bloques que se han movido diferencialmente (Iriondo, 2007; Paoli *et al.*, 2000; Figura 5.1).

Figura 5.1: Principales líneas de falla que afectan el sistema Paraná-Paraguay (Iriondo, 1987).



El mapa geomorfológico más completo del Río Paraná Medio, abarcando prácticamente la totalidad del mismo (desde la Confluencia con el Río Paraguay hasta Diamante, Entre Ríos) es el realizado por Iriondo (2007). Más recientemente, Marchetti *et al.* (2013a) publicaron el de un sector comprendido entre Helvecia (Santa Fe) y General Alvear (Entre Ríos).

5.1.1. La clasificación de Iriondo (2007)

Como se detalló en el Capítulo 2 la llanura aluvial inundable del río Paraná cubre una superficie de unos 19.240 km² (Iriondo, 1988, 2007; Paoli *et al.*, 2000). Este autor describe las principales características geomorfológicas de esta llanura delimitándolas en las siguientes unidades: *Llanura de Bancos*, *Llanura de Meandros*, *Llanura de Drenaje Impedido*, *Depósitos Antiguos* y *Deltas de Tributarios* (Figuras 5.2 y 5.3).

Figura 5.2: Unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio, desde la confluencia del río Paraguay con el Paraná hasta el sur de Empedrado (28° S) y desde los 28° 20' S hasta los 29° 25' S (Iriondo, 2007).

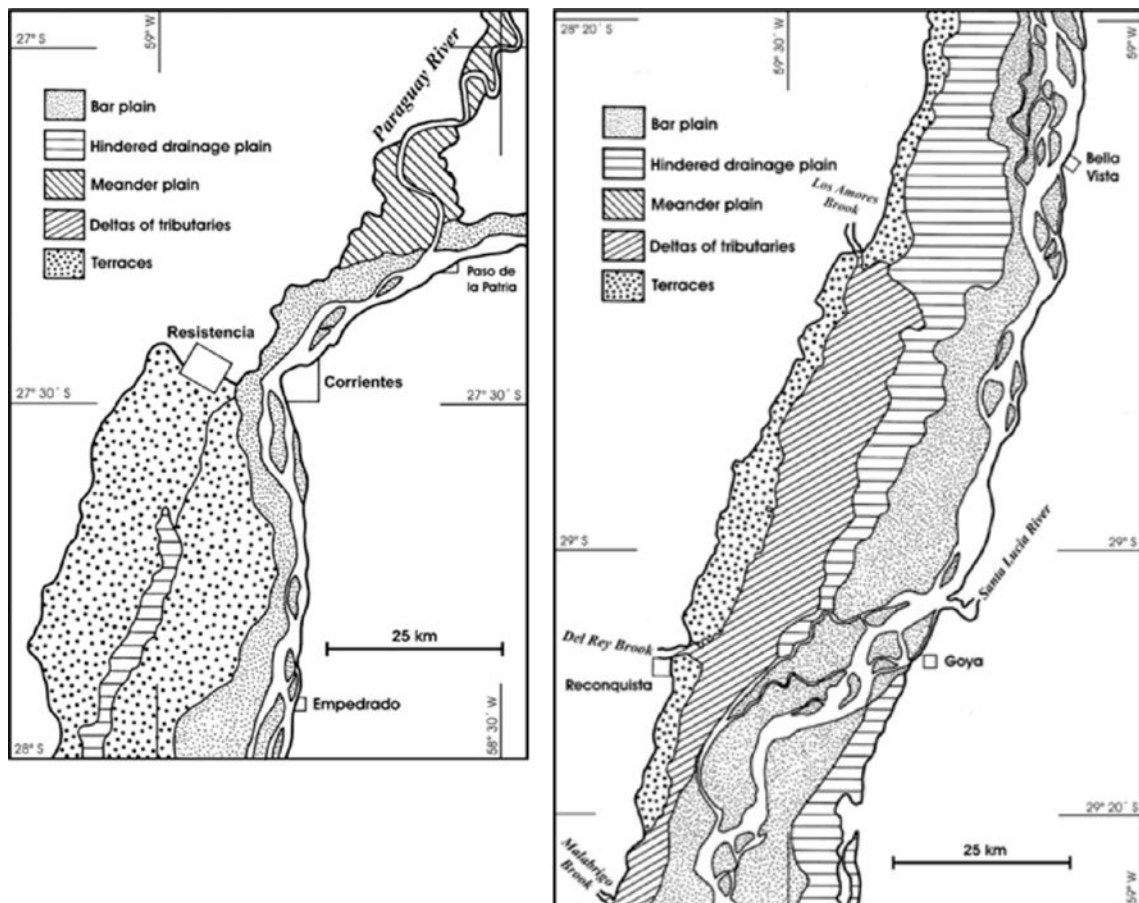
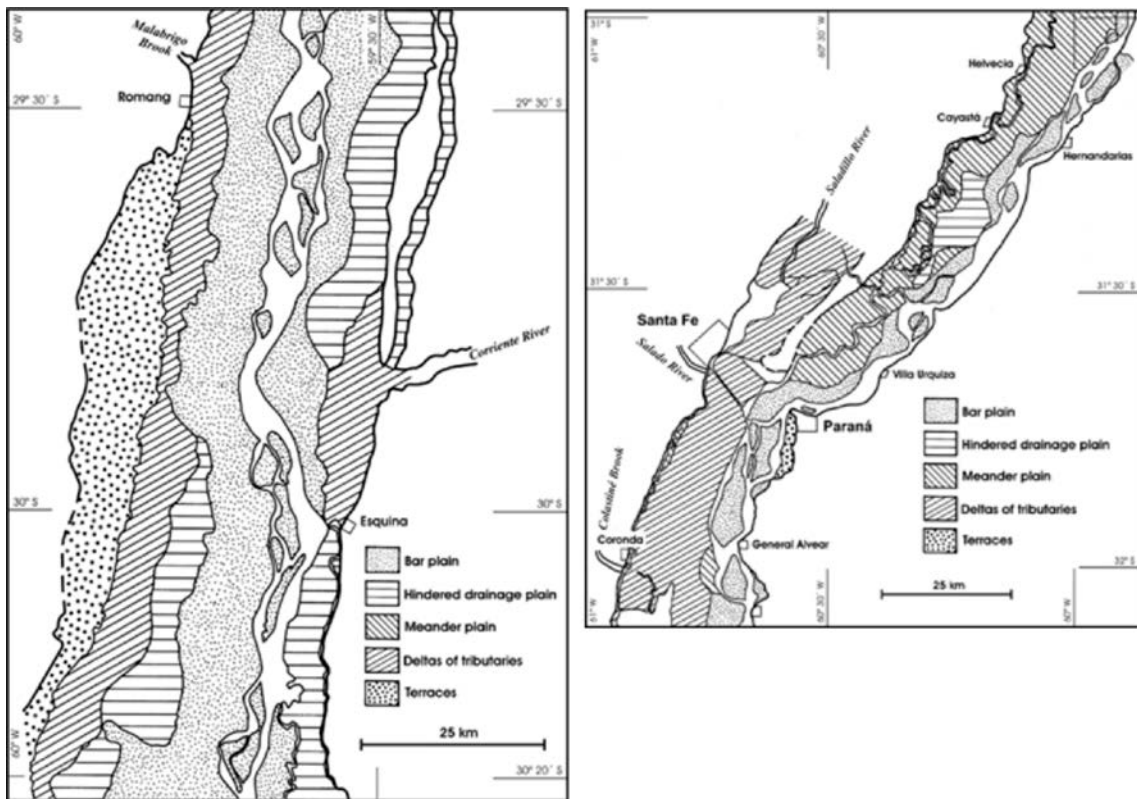


Figura 5.3: Unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio, desde los 28° 25'S hasta los 30° 20'S y desde los 31° S hasta Diamante (Iriondo, 2007).

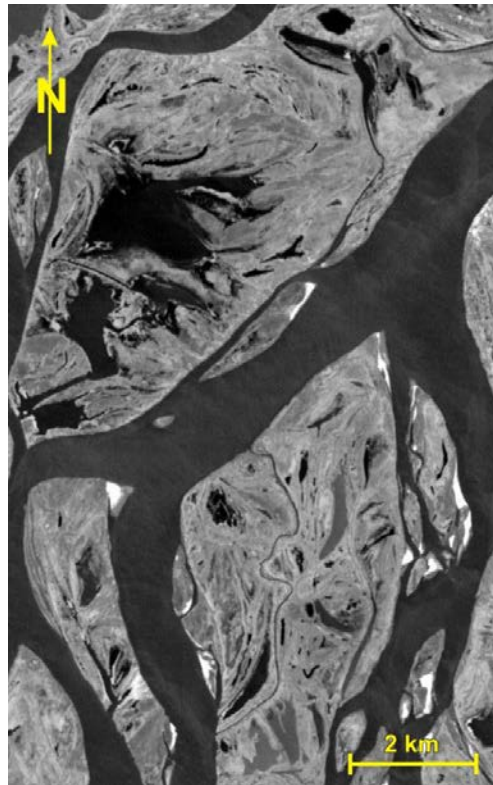


La Llanura de Bancos

Esta unidad está constituida por una faja de bancos elípticos, compuestos por arena fina, que acompaña al cauce principal a lo largo de todo su recorrido (Figura 5.4). Es permanentemente modificada por erosión y sedimentación. Tiene de 2 a 7 km de ancho y su área total es de 4.150 km². A lo largo de ella corre el cauce principal del Paraná de lecho móvil, geomorfológicamente clasificado como trenzado con thalweg divagante (Ramonell *et al.* 2002) y compuesto por una secuencia de tramos anchos caracterizados por dos o más brazos con erosión lateral y una dinámica sedimentaria que gobierna la formación de bancos inestables e islas. Estos tramos o segmentos están limitados por estrechamientos bien definidos en donde el río escurre en un solo canal. Varios de los estrechamientos se localizan en fracturas transversales; son secciones planimétricamente estables donde el cauce no ha cambiado en los últimos 80 años. Los segmentos ensanchados del río tienen de 20 a 30 km de largo y de 4 a 8 km de ancho, incluyendo las islas y bancos de arena (cabe señalar que Ramonell *et al.*, 2000, midieron ensanchamientos promedios de 11,04 km). El ancho del cauce,

sumado con los brazos de cauce, es de 2 a 5 km y la profundidad oscila entre 5 y 10 metros. En los angostamientos el cauce reduce su ancho, entre 0,5 y 1,5 km y la profundidad aumenta de 15 a 30 metros. La superficie total del cauce principal es de 1.803 km².

Figura 5.4: Unidad geomorfológica Llanura de Bancos (Iriondo, 2007).



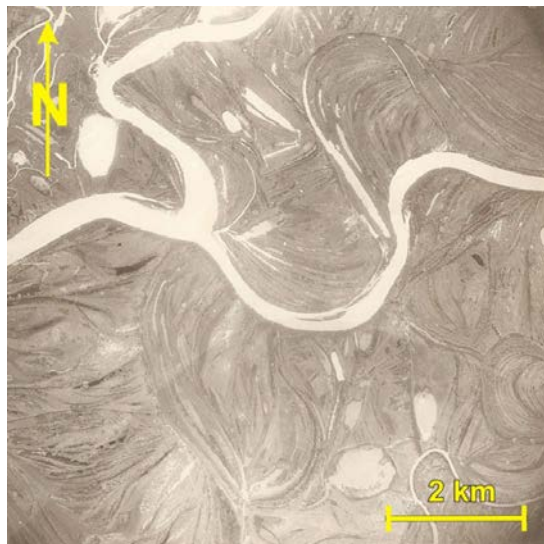
La llanura de bancos está formada por islas en el interior del cauce principal y bancos de arena desarrollados en las márgenes del cauce. La mayoría de las islas se formaron por yuxtaposición de bancos, presentan entre 500 a 1.000 metros de longitud y 200 a 500 metros de ancho. Algunas pueden alcanzar hasta 5 y 6 km de largo y 2 a 3 km de ancho en la zona de Bella Vista (Corrientes) y con tamaños aún superiores en el sur, en el segmento Santa Fe-Rosario (hasta 35 km de largo y 7 km de ancho). Esta diferencia en dimensiones sugiere un hundimiento en la zona de Corrientes-Bella Vista y una elevación en Santa Fe-Rosario, como resultado de la actividad neotectónica (Iriondo, 2007). Las islas suelen estar disectadas por cauces activos de menor jerarquía y fuerte migración lateral lo que origina fajas irregulares de pequeños meandros. A ambos lados del cauce principal, esta unidad geomorfológica presenta el mismo patrón, esto es, islas y bancos de arena con brazos activos originados en el

mismo cauce principal y que se unen aguas abajo.

La Llanura de Meandros

La llanura de meandros se extiende a lo largo de la margen derecha de la llanura aluvial (del lado opuesto al cauce principal), donde fluyen los cauces secundarios activos y meandriformes que han desarrollado este tipo de unidad en varios sectores de la planicie (Figura 5.5). La mayoría de ellos están ubicados al norte de la ciudad de Santa Fe y fueron generados por el Río Colastiné (ver más abajo). La unidad tiene 60 km de longitud, un ancho de 6 a 8 km y una superficie de 2.917 km². Está compuesta por arena fina limosa en superficie y arena limpia en el subsuelo.

Figura 5.5: Unidad Geomorfológica Llanura de Meandros (Iriondo, 2007).



El Colastiné y otros cauces secundarios mayores que escurren al oeste de la llanura de inundación (como el Río San Javier), escurren en la llanura aluvial que ha sido generada por el propio cauce principal el cual, junto con ellos, fueron y son formadores y modeladores de la llanura de inundación y en consecuencia agentes generadores de lagunas. La importancia de estos cauces secundarios en los cambios morfológicos que originan está reflejada en sus caudales, del orden de 1.000 a 1.500 m³/s.

Con respecto al San Javier, como se ha dicho, escurre al oeste de la llanura aluvial desde Reconquista (Santa Fe, 28°20' S) hacia el sur. A lo largo de 200 km, atraviesa zonas bajas, inundadas casi permanentemente, formando un entramado con pequeños cauces anastomosados vinculados a alrededor de 200 lagunas poco

profundas de aproximadamente 300 metros de longitud media. Cerca de la localidad de Romang (Santa Fe), algunas lagunas están bien definidas y otras en un estado de transición hacia pantanos. Actualmente el curso es relativamente estable, de unos 100 metros de ancho y sin mayor migración lateral (Iriondo, 2007; Ramonell y Amsler, 2005). Esta subunidad geomorfológica (dentro de la llanura de meandros), se caracteriza por tener sedimentos orgánicos y arcillas, formando una franja de 4 a 5 km de ancho.

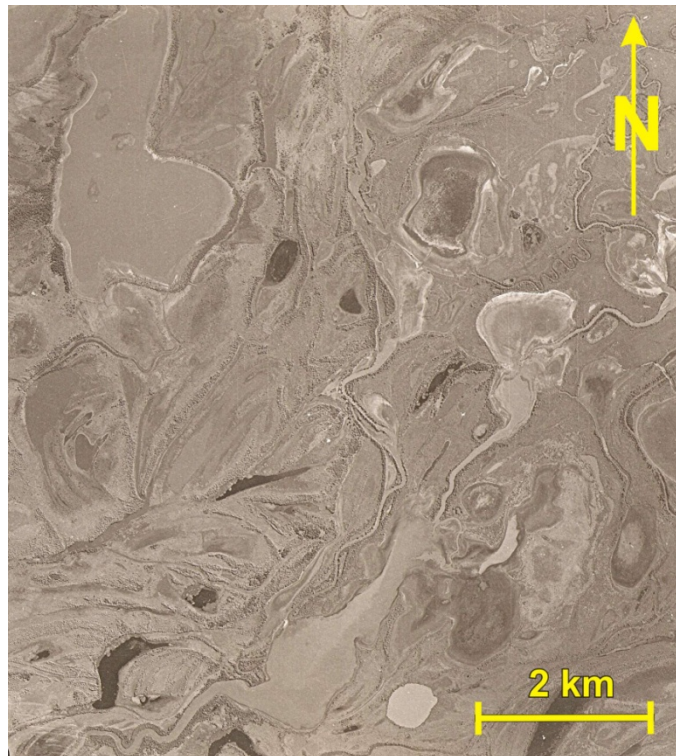
Con respecto al Río Colastiné, tiene una longitud de 39 km, desemboca en el cauce principal a la misma latitud que la ciudad de Santa Fe y posee un caudal medio de 1.400 m³/s. Es un típico cauce meandriforme con una actividad morfogenética intensa, con algunos de sus meandros migrando lateralmente varios metros por año. El lecho del cauce presenta una secuencia de umbrales y pozos, con profundidades que oscilan entre 7,3 metros hasta 11 metros con sedimentos de arena de cuarzo bien sedimentada de 0,2 a 0,3 mm de diámetro. El área de meandros que ha construido (ver más arriba sus dimensiones), presenta lagunas de espiras de meandro poco profundas y con 0,8 a 1,5 metros de profundidad (Iriondo, 2007). En el proceso de desarrollo de los meandros, al obliterarse, forman las lagunas de meandros, que resultan del cierre del antiguo curso (Iriondo, 1975). En estas lagunas el sedimento es fino, con una media entre 10 y 20 micrones (limo) en algunos puntos.

Dentro de esta unidad, se encuentran unidades menores conformadas por los depósitos de meandros y bancos evolucionados muy recientes que fueron, probablemente, formados durante el régimen hidrológico actual. Aparecen como fajas discontinuas, alejadas de la influencia directa del cauce principal. Las superficies de estas pequeñas unidades presentan una incipiente morfología fluvial, de brazos menores sobreimpuesta al patrón heredado. Los bancos de arena originales son menos evidentes que los restos de cauces menores. Los sedimentos superficiales contienen limo intersticial, que contamina la arena original de los bancos. Cauces pequeños activos cruzan la unidad, formando fajas de meandros finos, con radios de curvatura extremadamente grandes. El área total en el Paraná Medio es de 1.117 km².

Llanura de Drenaje Impedido

Esta unidad se caracteriza por una morfología de áreas planas con numerosas lagunas poco profundas, pantanos y pequeños cauces adventicios, activos solamente al comienzo y al final de las inundaciones (Figura 5.6).

Figura 5.6: Unidad geomorfológica Llanura de Drenaje Impedido (Iriondo, 2007).



Está situada sobre margen derecha del cauce principal a lo largo de toda la llanura aluvial, presentando una topografía intrincada, lo que dificulta el escurrimiento del flujo hacia aguas abajo. Éste, se mueve lentamente, prácticamente de manera mantiforme y en diferentes direcciones, dependiendo del nivel hidrométrico del cauce principal. Algunas áreas están ligeramente hundidas debido a la tectónica (o neotectónica, Pasotti, 1974). Las numerosas lagunas, poco profundas, son de forma irregular y de 400 a 1.000 m de longitud; los cauces adventicios son abundantes, tortuosos, de alrededor de 100 m de ancho y generados en el pasado bajo un régimen hidrológico diferente al actual. Los cauces están interconectados de una manera caótica, con algunos de ellos formando albardones en los bancos que han cortado, lo que impide aún más el flujo natural. Esta unidad geomorfológica, forma fajas anchas, en algunos sectores a ambos lados de la llanura de bancos. Están compuestas principalmente por dos facies sedimentarias: a) Facies de albardón, caracterizada por arena muy fina con mezcla de limo y arcilla, color ocre y verde grisáceo. Poseen plasticidad mediana y los procesos evidentes de gleyzación (reducción del hierro férrico a ferroso, cambiando de color marrón rojizo a gris azulado, en los suelos anegados); b) Facies de pantano, compuestas por limo gris oscuro con alto porcentaje de materia orgánica en diferentes grados de descomposición. Contiene pequeños porcentajes de arcilla y arena muy fina. Este sedimento es compacto, con baja

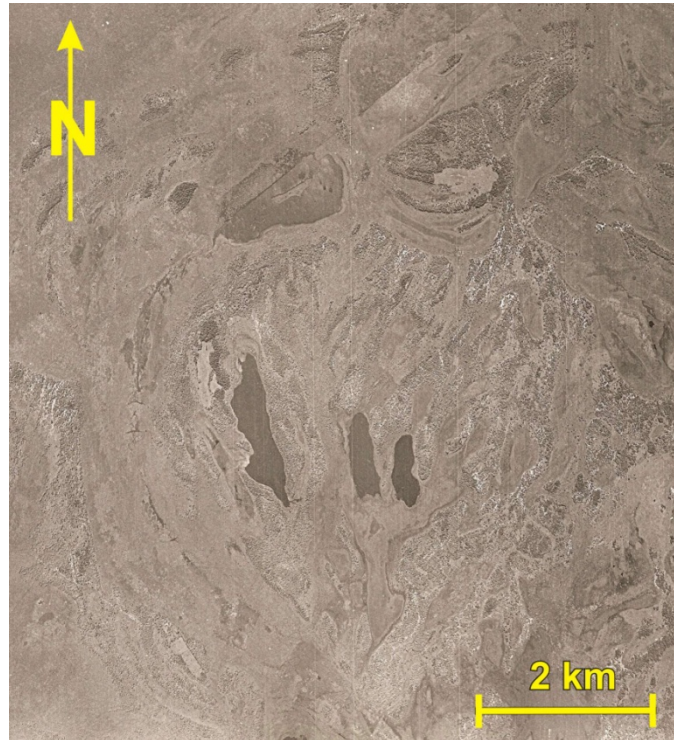
porosidad, excepto en depósitos muy recientes. Un área importante se encuentra entre las dos terrazas al sur de Resistencia (Chaco) y se prolonga hasta Goya (Corrientes), resultando una faja central de la llanura aluvial, de 150 km de longitud y 15 km de ancho (Figura 5.2). Otra área se encuentra al sur de Goya, con una longitud de 50 km y 6 a 8 km de ancho. En la margen derecha del sistema, aparece una superficie similar en la latitud de Alejandra (Santa Fe), de 8 a 10 km de ancho y se extiende por decenas de kilómetros al sur; allí las lagunas son más grandes, de 1 a 3 km de largo y menos numerosas. Los cauces adventicios son numerosos, pequeños y con frecuencia interconectados; algunos de estos cauces fluyen en dirección transversal al del valle (este-oeste). En esta unidad de 2.498 km², la mayor parte de la superficie está cubierta por lagunas y pantanos caracterizados por la descomposición de la vegetación. Iriondo (2007) reconoce varias unidades menores en ella, cada una representando un estado particular de la evolución desde la morfología de cauce original hacia una morfología de inundación bien definida. Dicha evolución presenta en el Paraná Medio dos líneas divergentes, una de ellas en áreas sujetas a hundimiento tectónico y la otra en bloques que se están elevando. El primer estado de la evolución es el mismo en ambas líneas. Así, aparecen cauces menores cruzando la llanura de bancos, que se aíslan de la circulación general del cauce principal y comienzan a ensancharse en algunos sectores, formando lagunas pequeñas. En los bloques hundidos, la superficie cubierta por pantanos y lagunas va creciendo gradualmente, presentando una evolución morfológica de áreas con cauces ensanchados/áreas con lagunas y cauces asociados/áreas permanentemente sumergidas (el área atravesada por el Río San Javier es un caso importante; Figura 5.3.).

Los depósitos antiguos

Los depósitos antiguos se encuentran en las terrazas del Paraná, acompañando la llanura aluvial en la margen occidental, hasta más de la mitad norte del Paraná Medio. Estas terrazas se caracterizan principalmente por tener un relieve extremadamente plano, prácticamente invisible en el campo. En estas áreas sólo se detectan escasos pantanos de forma irregular, de 100 a 300 m de diámetro. Los depósitos antiguos que las forman, están compuestos por arena media verde grisácea con concreciones de carbonato de calcio. En los afloramientos, se pueden observar intercalaciones de limo arenoso con floraciones salinas. Aparecen desde Confluencia (confluencia de los ríos Paraná y Paraguay) hasta los 30°40' S, formando dos fajas discontinuas sobre ambos lados de la llanura aluvial. En el sector norte (hasta los 28°30' S) están hundidos, con la superficie original a menor altura que las unidades

geomorfológicas modernas. En el sector sur los depósitos antiguos han sido elevados, de manera que actualmente forman una terraza. La diferencia en altura entre ambos sectores es de más de 4 metros (Figura 5.7).

Figura 5.7: Unidad geomorfológica Depósitos Antiguos (Iriondo, 2007).



Esos depósitos fueron sedimentados durante una fase hidrológica más seca que la actual, durante la cual el Paraná tenía una descarga más reducida y salinidad más alta. Su edad puede estimarse desde la mitad del Holoceno Superior, probablemente contemporánea de las unidades geomorfológicas antiguas amazónicas, debido a que los sedimentos eólicos que cubren las superficies fluviales más antiguas datan de 3.000 a 1.000 años A.P.

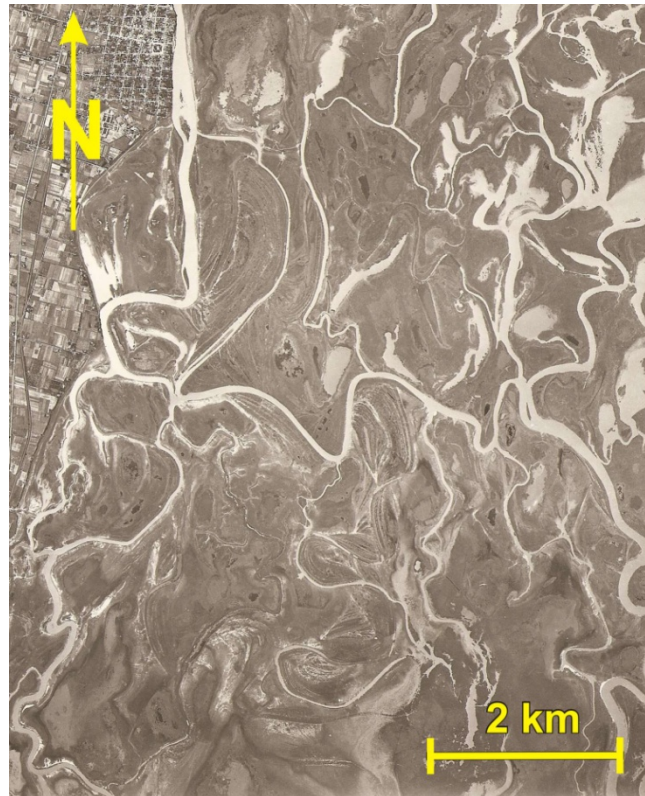
La terraza Villa Ocampo-Reconquista (Santa Fe; Figura 5.2), se extiende a lo largo de 60 km y se encuentra al oeste de la llanura de inundación. Tiene 2 a 5 km de ancho, con una superficie plana, generalmente pantanosa y escasas características morfológicas. En el lado oeste, una inclinación tectónica suave origina la existencia de lagunas pequeñas. La terraza de Goya se encuentra en el borde este de la llanura aluvial (no representada por Iriondo, 2007, en Figuras 5.2 y 5.3), en un sector de una antigua planicie elevada y parcialmente erosionada. En la actualidad, no presenta una dinámica fluvial activa, pero sufre inundaciones y sedimentación debido a las

pequeñas cuencas locales desarrolladas al este de esta área. Esta terraza es diferente y parece mayor que la opuesta en Reconquista. La terraza Goya se extiende por 100 km aproximadamente, tiene 5 a 11 km de ancho, está atravesada por grandes paleocauces meandriformes de 2 a 4 km de longitud de onda. Estos paleocauces pertenecen al sistema del río Santa Lucía, un importante afluente que drena un área de varios kilómetros cuadrados en la Provincia de Corrientes. En la mitad sur de la terraza, varias cuencas locales menores contribuyen con modestos volúmenes de agua y sedimentos durante inundaciones esporádicas. No existen cuerpos de agua permanentes, probablemente debido a la arena del subsuelo. Estos sedimentos del subsuelo se originaron en los grandes humedales del Iberá, situado en el centro de la Provincia de Corrientes. La terraza de Goya es atravesada actualmente por brazos abandonados del cauce principal, siendo una depresión pantanosa que termina en la desembocadura del río Corrientes, de 45 km de longitud y 1,5 a 2 km de ancho. La existencia de esta característica sugiere una elevación tectónica de la terraza (siendo de varios metros de altura y también inclinada) sincrónica con la actividad fluvial del brazo del río Paraná.

Deltas de Tributarios

Los Deltas de Tributarios son áreas de sedimentación formadas dentro de la llanura de inundación durante un clima seco reciente (probablemente a partir de 3.500 a 1.000/1.400 años A.P.). Los caudales fueron menores a los actuales en todo el sistema en donde los tributarios no alcanzaban al cauce principal, depositando la carga de sedimentos lateralmente dentro la llanura de inundación. De hecho, el Río Paraná presentaba un caudal menor al actual, dando como resultado deltas relativamente cortos y anchos. Los tributarios occidentales pertenecen a la región del Chaco y tienen una tipología de sedimentos diferente a la del cauce principal, por lo tanto los deltas difieren notablemente en el Paraná Medio. Las geoformas originales de estos deltas sufrieron importantes modificaciones debido a que, en la actualidad, los caudales son superiores, permitiendo una conexión permanente con el cauce principal. Como resultado, los deltas están actualmente inactivos y sometidos a diferentes procesos fluviales. Cada uno de ellos tiene características particulares (Figura 5.8).

Figura 5.8: Unidad geomorfológica Deltas de Tributarios (Iriondo, 2007).



En esta unidad geomorfológica, Iriondo (2007) describe dos cauces santafesinos, los arroyos Del Rey y Los Amores y uno mesopotámico, el Río Corrientes. Pero observando los mapas de las unidades, resulta importante anexar a la lista, por el lado santafesino, al Arroyo Malabrigo, el Río Saladillo, el Río Salado y el Arroyo Colastiné.

El Arroyo Del Rey (Santa Fe), generó un delta de 45 km de ancho y 8 km de longitud, siendo topográficamente bajo, pantanoso, con pocas lagunas someras y con pequeños cauces que lo cruzan. El cauce del Arroyo tiene 50 metros de ancho y se caracteriza por presentar un diseño tortuoso (curvas de 100 metros de longitud), al igual que otro cauce abandonado con características similares, que formó una faja estrecha. Ambos cauces terminan en una zona de lagunas situadas a lo largo del Correntoso, brazo del cauce principal que está separado de las lagunas por un ancho albardón. El Arroyo Los Amores, desemboca en la llanura de inundación del Paraná Medio al sur de Villa Ocampo (Santa Fe), fluyendo 50 km cerca de la margen derecha de la llanura, en una franja estrecha de 500 a 1.000 metros de ancho. Las curvas cerradas del cauce son flanqueadas por numerosas lagunas de meandros. El sedimento en la faja es predominantemente arena; termina en un delta pequeño de 20 km de ancho y 5 km de longitud a la latitud de Reconquista. El delta está ocupado por varias lagunas grandes y bien definidas, de 600 a 1.500 metros de longitud y que

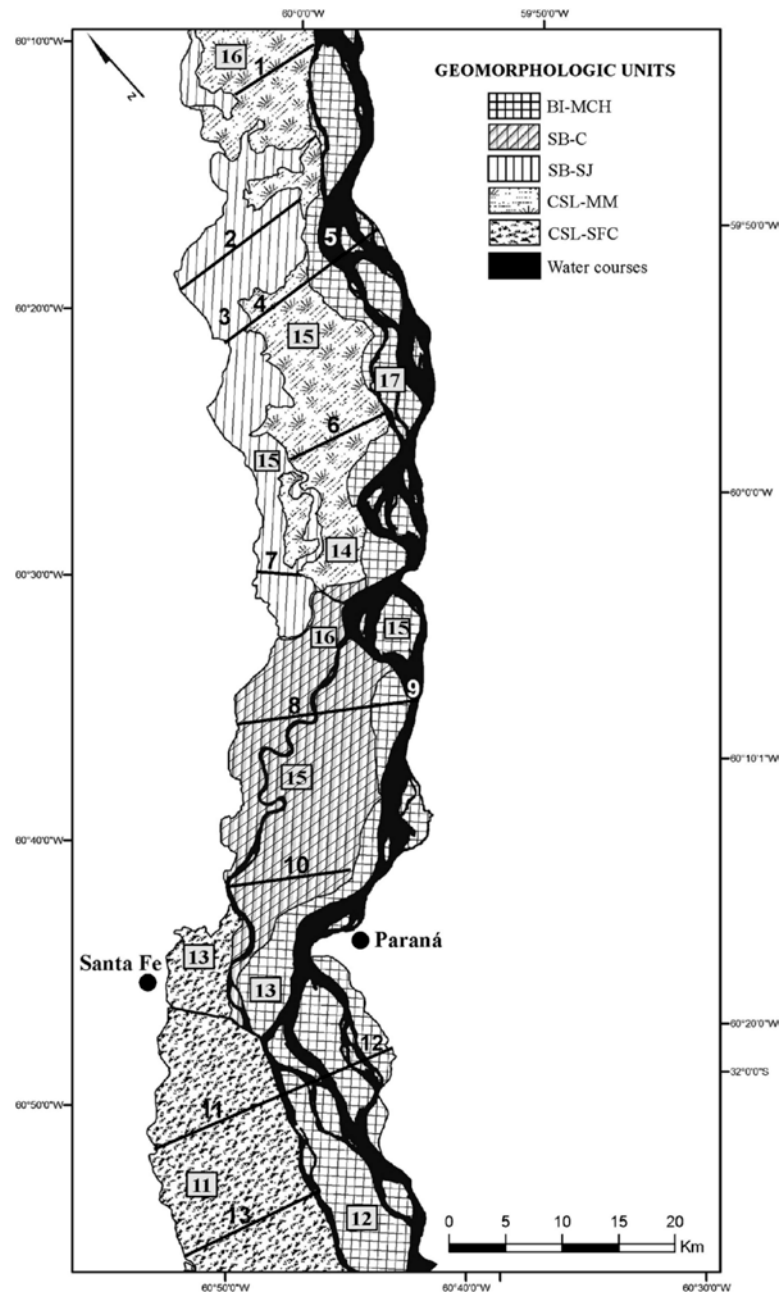
están conectadas por numerosos cauces adventicios con lechos predominantemente arenosos.

El Río Corrientes, drena un gran área del abanico aluvial del Paraná a lo largo de 280 km (río tipo Yazoo, Capítulo 2) e ingresa por la margen izquierda de la llanura de inundación (Figura 5.3). Este afluente formó un abanico de 46 km de ancho en dirección norte a sur y de 6 km de longitud en dirección este a oeste. Esta área de la llanura es atravesada por cauces meandriiformes que originaron tanto el Río Corrientes como el cauce principal del Paraná. El sedimento está compuesto por arena fina de cuarzo, caolinita, montmorillonita y restos orgánicos. En esta área se formaron en tiempos recientes campos de dunas eólicas. La más grande de ellas tiene 12 km de longitud y 2 a 3 km de ancho, extendiéndose en una dirección norte-sur. Además, el Río Corrientes originó dunas de varios metros de altura compuestas por arena fina suelta.

5.1.2. La clasificación de Marchetti *et al.* (2013a)

Como se mencionara al inicio de esta sección, estos autores publicaron un mapa geomorfológico más reciente de un tramo del Paraná Medio. El objetivo fue relacionarlo con la vegetación de la llanura aluvial en un tramo de aproximadamente 110 km, desde los 31°08' S hasta 31°58' S, desde Helvecia (Santa Fe)-Piedras Blancas (Entre Ríos) hasta Sauce Viejo (Santa Fe)-General Alvear (Entre Ríos). Estos autores identificaron cinco unidades geomorfológicas principales en ese sector: *Islas y bancos del cauce principal*, *Espiras de meandro del Río Colastiné*, *Espiras de meandro del Río San Javier*, *Drenaje anastomosado y albardones de los cauces secundarios menores Malo y Mendieta* y *Derrames deltaicos y albardones de los ríos Santa Fe y Coronda* (Figura 5.9).

Figura 5.9: Unidades geomorfológicas de un tramo de la llanura aluvial del río Paraná medio desde los 31°08' S hasta 31°58' S (Marchetti *et al.*, 2013a). BI-MCH: Islas y bancos del cauce principal, SB-C: Espiras de meandro del Río Colastiné, SB-SJ: Espiras de meandro del Río San Javier, CSL-MM: Drenaje anastomosado y albardones de los cauces secundarios menores Malo y Mendieta y CSL-SFC: Derrames deltaicos y albardones de los ríos Santa Fe y Coronda.



Islas y bancos del cauce principal

Esta unidad, incluye las islas centrales ubicadas en el cauce principal y sectores adyacentes de la llanura de inundación, donde estas islas fueron anexadas a la misma. En general, la unidad es la más elevada de la planicie de inundación al compararla las otras. La isla es generada por un cauce ramificado (anabranching channel, en inglés) emergiendo su relieve hasta dos metros por encima en la fase de aguas medias. Durante el último siglo, las tasas de erosión y sedimentación del cauce principal han sido de decenas de m/año e incluso algo superiores (Ramonell *et al.*, 2000). Mediante un análisis cartográfico multitemporal, Marchetti *et al.* (2013a)

demonstraron que aproximadamente, el 80% de esta unidad tiene más de 100 años en el sector estudiado.

Espiras de meandro del Río Colastiné

Las formas predominantes son las espiras de meandro, meandros abandonados y cauces abandonados por avulsión (Figura 5.6). Este relieve es el más bajo, con lagunas permanentes y/o transitorias y pantanos, con baja conectividad y una intrincada red de cauces que drenan la unidad. Presenta la mayor rugosidad topográfica, debido a que las espiras de meandros se distribuyen dentro de una amplia gama de ángulos en relación a la pendiente regional de la llanura de inundación. El elemento morfodinámico más importante es el Río Colastiné, que ha generado las espiras de meandro con desplazamientos laterales de decenas de metros por año. Se pueden medir tramos de cauces abandonados que tienen tamaños similares a los actuales meandros del río mencionado. En el siglo pasado, éste ha migrado por avulsión o rectificación, hasta varios kilómetros de la posición actual y las nuevas fajas aluviales tienen mayores alturas topográficas que el resto de la unidad.

Espiras de meandro del Río San Javier

Esta unidad es similar a la de espiras de meandros del Colastiné. Sin embargo, está caracterizada por tener una menor pendiente regional, mayor frecuencia de lagunas y pantanos, drenaje escaso y formas de relieve menores.

Existen dos tamaños de espiras de meandro: una de dimensiones kilométricas, similares a las que se encuentran en el Colastiné, y otra con pequeños meandros y espiras de meandros, relacionados con el Río San Javier y otros cauces secundarios. El desplazamiento lateral es pequeño, en el orden de un metro por año, debido a que el ingreso de sedimentos es exiguo y restringido a la llanura de inundación, a pesar de existir una conexión directa entre los cauces del San Javier y el Paraná.

Derrames deltaicos y albardones de los cauces secundarios menores Malo y Mendieta

Esta unidad, desarrollada con una topografía baja, no elevada entre las unidades de espiras de meandro del río San Javier y la de islas y bancos del cauce principal, se caracteriza por una densa red de cauces aluviales pequeños y sinuosos, con albardones naturales que limitan lagunas subcirculares poco profundas y

pantanos. La dinámica geomorfológica actual de la unidad, es el escurrimiento siguiendo los albardones naturales que penetran en las lagunas adyacentes como derrames deltaicos. Algunos de estos deltas, son particularmente activos durante las grandes inundaciones, con tasas de varios cientos de metros por año después de las grandes inundaciones de la década de 1980.

Derrames deltaicos y albardones de los ríos Santa Fe y Coronda

En general, esta unidad tiene características geomorfológicas similares a la unidad anterior, pero la diferencia está generada por la actividad del Río Coronda, cauce secundario de jerarquía del Paraná y que escurre al oeste de la llanura de inundación. La superficie de agua libre de vegetación cubriendo estas dos unidades son similares (la de los cauces secundarios menores y la de los cauces secundarios principales).

5.1.3. Conclusiones con respecto a las Unidades Geomorfológicas

Si bien las dos clasificaciones de unidades geomorfológicas presentadas difieren en cuanto a la extensión de los tramos estudiados, debido a que Iriondo (2007) abarca casi la totalidad del tramo del Río Paraná Medio desde Confluencia hasta Diamante (Entre Ríos) y la de Marchetti *et al.* (2013a) 110 km, aproximadamente desde Helvecia (Santa Fe) hasta General Alvear (Entre Ríos), ambas se superponen en este último tramo. Teniendo este hecho y las interpretaciones respectivas realizadas en estas fuentes, han surgido las siguientes conclusiones:

- a) En las dos clasificaciones, el cauce principal y los cauces secundarios son considerados los formadores y modeladores de las distintas unidades geomorfológicas de la llanura de inundación y por consecuencia son los generadores de lagunas ya nuevas o impuestas sobre los ambientes lenfíticos existentes.
- b) La *Llanura de Bancos* de Iriondo (2007) es sinonimia a *Islas y bancos del cauce principal* de Marchetti *et al.* (2013a).
- c) El área abarcada por la *Llanura de Meandros* de Iriondo (2007) es levemente mayor a la comprendida por las unidades *Espiras de meandro de los ríos Colastiné y San Javier* de Marchetti *et al.* (2013a). Nótese, al comparar las Figuras 5.3 y 5.9, que la unidad *Drenaje anastomosado y albardones de los cauces secundarios menores Malo y Mendieta* comprende, por un lado, la porción más austral de la *Llanura de Drenaje Impedido* identificada por Iriondo (2007) y por otro, un área que este último autor atribuye a la *Llanura de meandros del Río San Javier*. Cuando se examinan las

descripciones de esta zona dadas por ambas fuentes, sin embargo, en general las similitudes son evidentes. En particular, en los dos casos, existe coincidencia en caracterizarla como una zona relativamente plana, con una intrincada red de cauces con albardones conformados por algunos de ellos que dificultan el escurrimiento y lagunas en transición hacia pantanos.

d) Similar ubicación de las unidades *Deltas de Tributarios* de Iriondo (2007) con *Derrames deltaicos y albardones de los ríos Santa Fe y Coronda* de Marchetti *et al.* (2013a).

e) Las unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del Paraná más activas, son aquellas que se encuentran cercanas al cauce principal y a los cauces secundarios principales (Iriondo, 1988; Marchetti *et al.*, 2013a).

f) La unidad de *Llanura de Meandros* (Iriondo, 2007) es reciente, siendo probablemente formada durante el actual régimen hidrológico (Iriondo, 1988). Es equivalente a las unidades que Marchetti *et al.* (2013a) denominan *Espiras de meandros de los cauces secundarios Colastiné y San Javier*.

g) Las unidades referidas en (f), están bien diferenciadas del cauce principal del Paraná. Si bien los cauces secundarios que las han originado no tienen las dimensiones del cauce principal, según Iriondo (2007) han originado la mayoría de los ambientes leníticos sobreimpuestos sobre una planicie de sedimentación propia del Paraná.

h) La unidad *Depósitos Antiguos (Terrazas)* de Iriondo (2007) identificada aguas abajo de la ciudad de Paraná, sobre la ribera izquierda del cauce principal y de poca superficie (28 km², aproximadamente), no está contemplada por Marchetti *et al.* (2013a).

i) Teniendo en cuenta la extensión del estudio de Iriondo (2007), abarcando la mayor parte de la llanura aluvial del tramo medio, y las similitudes remarcables con el estudio de Marchetti *et al.* (2013a), al menos en un sector que comprende parte del tramo centro y todo el sur, se decidió adoptar la clasificación de Unidades Geomorfológicas propuesta por el primer autor, en todos los análisis que se presentan en lo que sigue.

5.2. Asociación de las lagunas aluviales con las Unidades Geomorfológicas

5.2.1. Las Unidades Geomorfológicas en los tramos Norte, Centro y Sur

En la clasificación de Unidades Geomorfológicas de Iriondo (2007), se observa que existen tramos de la planicie aluvial que no han sido cartografiados. Con respecto

al Tramo Norte, faltan 20' de latitud desde los 28° S hasta los 28°20' S. En el Tramo Centro, faltan 40' de latitud desde los 30°20' S hasta los 31° S, esto es desde el Río Guayquiraró (Entre Ríos), al sur del Río Corrientes, hasta la desembocadura del Arroyo Feliciano o la localidad de Leguizamón (Entre Ríos). En Tabla 5.1 se presentan las diferencias en áreas de planicie no cartografiada y las longitudes de cada tramo equivalentes en el cauce principal. Se procedió a medir las superficies faltantes, incrementándose un 17% y 18% las áreas en los tramos Norte y Centro, respectivamente (Tabla 5.1).

Tabla 5.1: Superficies medidas (km²) de las distintas Unidades Geomorfológicas (Iriondo, 2007) en cada tramo, superficies efectivas de cada tramo (km²) con las diferencias entre ambas y longitud de cada tramo en el Río Paraná Medio.

Tramo	Desde	Hasta	Superficie Unidades Geomorfológicas del tramo (km ²)	Superficie del tramo (km ²)	Diferencia (km ²)	Longitud tramo en Río Paraná (km)
Norte	Confluencia Río Paraguay y Río Paraná	Goya-Reconquista	4.877	5.853	976	270
Centro	Goya-Reconquista	El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné	7.241	8.818	1.577	340
Sur	El Cerro-Isla Chapetón-Río Colastiné	Diamante-Arocena	1.123	1.123	0	110
Total			13.241	15.794	2.553	720

Dentro del Tramo Centro se cartografiaron 715 km² que se sumaron a las unidades geomorfológicas siguiendo a Iriondo (2007) entre las localidades de San Javier (Santa Fe) y La Paz (Entre Ríos), para hacerlo coincidir con un vuelo aerofotogramétrico realizado en la década del '50.

En las superficies de cada unidad geomorfológica medidas por Iriondo (2007), se observa, que en el Tramo Norte los Depósitos Antiguos (Terrazas) ocupan 1.938 km², siguiendo la Llanura de Bancos con 1.460 km². La Llanura de Drenaje Impedido posee un área de casi la mitad de las anteriores superficies (872 km²), Deltas de

Tributarios 607 km² y la Llanura de Meandros no está presente (Tabla 5.2 y Figura 5.10).

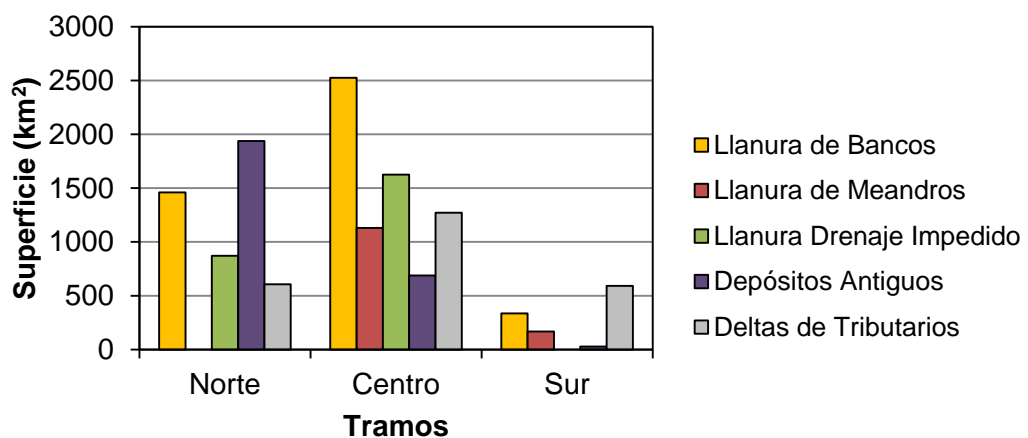
En el Tramo Centro, la mayor superficie la ocupa la Llanura de Bancos con 2.525 km², siguiendo las unidades Llanura de Drenaje Impedido y Deltas de Tributarios con 1.626 km² y 1.272 km², respectivamente. Continúan las áreas ocupadas por Llanura de Meandros, 1.130 km² y Depósitos Antiguos (Terrazas), con 688 km² (Tabla 5.2 y Figura 5.10).

En el Tramo Sur, la mayor representación areal es la Unidad Deltas de Tributarios con 591 km², luego sigue la Llanura de Bancos con 336 km², la Llanura de Meandros con 168 km², los Depósitos Antiguos (Terrazas) con 28 km², no está presente la Llanura de Drenaje Impedido (Tabla 5.2 y Figura 5.10).

Tabla 5.2: Superficies medidas (km²) de las distintas Unidades Geomorfológicas (Iriondo, 2007) del Río Paraná Medio en cada tramo estudiado.

Area (km ²)	Llanura de Bancos	Llanura de Meandro	Llanura Drenaje Impedido	Depósitos Antiguos (Terrazas)	Deltas de Tributarios	Superficie de las Unidades Geomorfológicas del tramo (km ²)
Tramo Norte	1.460	0	872	1.938	607	4.877
Tramo Centro	2.525	1.130	1.626	688	1.272	7.241
Tramo Sur	336	168	0	28	591	1.123
Total	4.321	1.298	2.498	2.654	2.470	13.241

Figura 5.10: Superficies medidas (km²) de las distintas unidades geomorfológicas del Río Paraná Medio por tramo (Iriondo, 2007).



5.2.2. Origen y tipos de lagunas aluviales

Según lo adelantado en el Capítulo 3, Drago (1976), propuso una clasificación de ambientes leníticos de las llanuras aluviales basada en su génesis y evolución. Esta clasificación, como ya se mencionó, objetiva y actualmente se aplica en grandes ríos con llanura aluvial y contempla catorce tipos de lagunas (Tabla. 5.3).

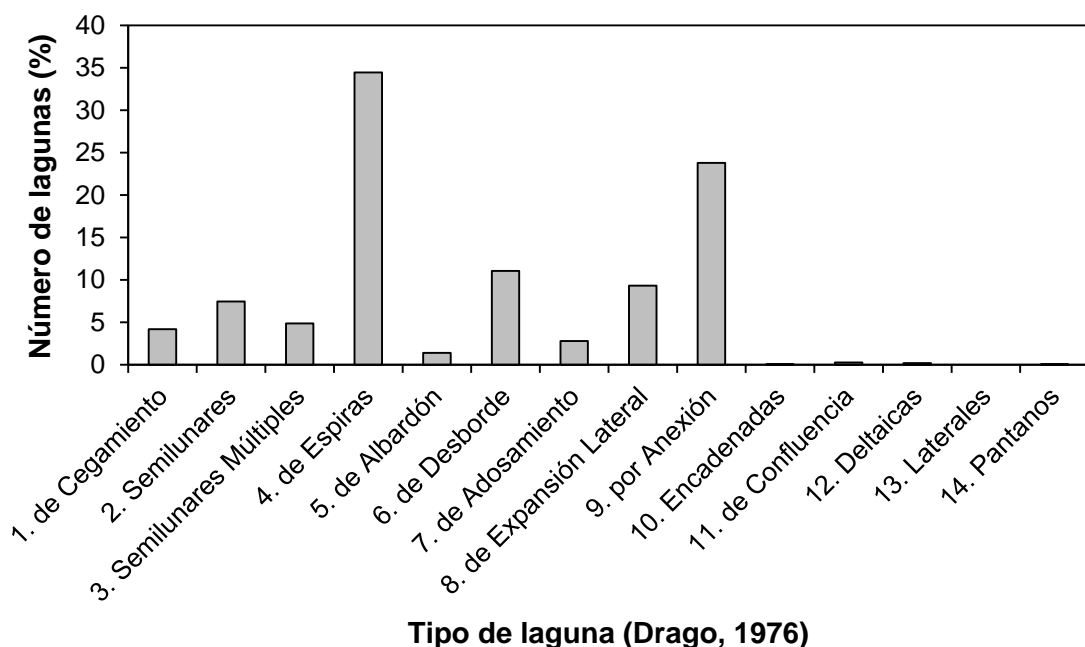
En la llanura de inundación del tramo medio del Paraná, el tipo genético predominante de laguna aluvial, de acuerdo a la clasificación señalada, es la Laguna de Espiras con un 34,4%. Ocupan el segundo lugar las Lagunas por Anexión (23,8%), siguiendo las de Expansión Lateral (9,3%), las Semilunares (7,5%), las Semilunares Múltiples (4,9%), las de Cegamiento (4,2%), las de Adosamiento (2,8%), las de Albardón (1,4%) y, por último las restantes con porcentajes iguales y menores a 0,3% (Lagunas de Confluencia, Deltaicas, Encadenadas y Pantanos; Tabla 5.3 y Figura 5.11).

Dentro de las Lagunas por Anexión, el 60,5% de ellas son originadas por la anexión de Lagunas de Espiras lo cual, implícitamente, incrementa aún más la presencia de estas últimas, llegando al 48,9% de Lagunas de Espiras. También, existen lagunas anexadas como las Lagunas de Adosamiento, alcanzando del 2,8 al 3,3% y Lagunas de Expansión Lateral que se incrementa del 9,3% al 9,7%. Las Lagunas de Expansión Lateral, tienen un origen similar a las lagunas de Cegamiento, a las Semilunares simples y también a las Semilunares Múltiples. Esto se debe a que, anteriormente, estas lagunas fueron cauces secundarios que sufrieron avulsión o fueron meandros abandonados que, por erosión de los albardones y la consiguiente invasión por el agua de las áreas bajas adyacentes, se desarrollaron lateralmente ampliando su área superficial y cambiando su forma típica de un cauce original alargado a una con lóbulos laterales.

Tabla 5.3: Clasificación de Tipos de lagunas (Drago, 1976) y porcentajes para cada tramo según su presencia en la llanura de inundación del Río Paraná Medio (1.500 lagunas), en los Tramos Norte (505 lagunas), Centro (917 lagunas) y Sur (78 lagunas).

Tipo de laguna	Paraná Medio (%)	Tramo Norte (%)	Tramo Centro (%)	Tramo Sur (%)
1. Lagunas de Cegamiento	4,2	8,5	2,1	1,3
2. Lagunas Semilunares	7,5	1,8	9,7	17,9
3. Lagunas Semilunares Múltiples	4,9	0,6	7,6	0,0
4. Lagunas de Espiras	34,4	38,6	34,0	12,8
5. Lagunas de Albardón	1,4	1,6	1,0	5,1
6. Lagunas de Desborde	11,0	9,1	10,7	28,2
7. Lagunas de Adosamiento	2,8	6,1	0,5	7,7
8. Lagunas de Expansión Lateral	9,3	5,7	11,3	9,0
9. Lagunas por Anexión	23,8	27,3	22,5	16,7
10. Lagunas Encadenadas	0,1	0,0	0,1	0,0
11. Lagunas de Confluencia	0,3	0,2	0,2	1,3
12. Lagunas Deltaicas	0,2	0,2	0,2	0,0
13. Lagunas Laterales	0	0	0	0
14. Pantanos	0,1	0,2	0,0	0,0

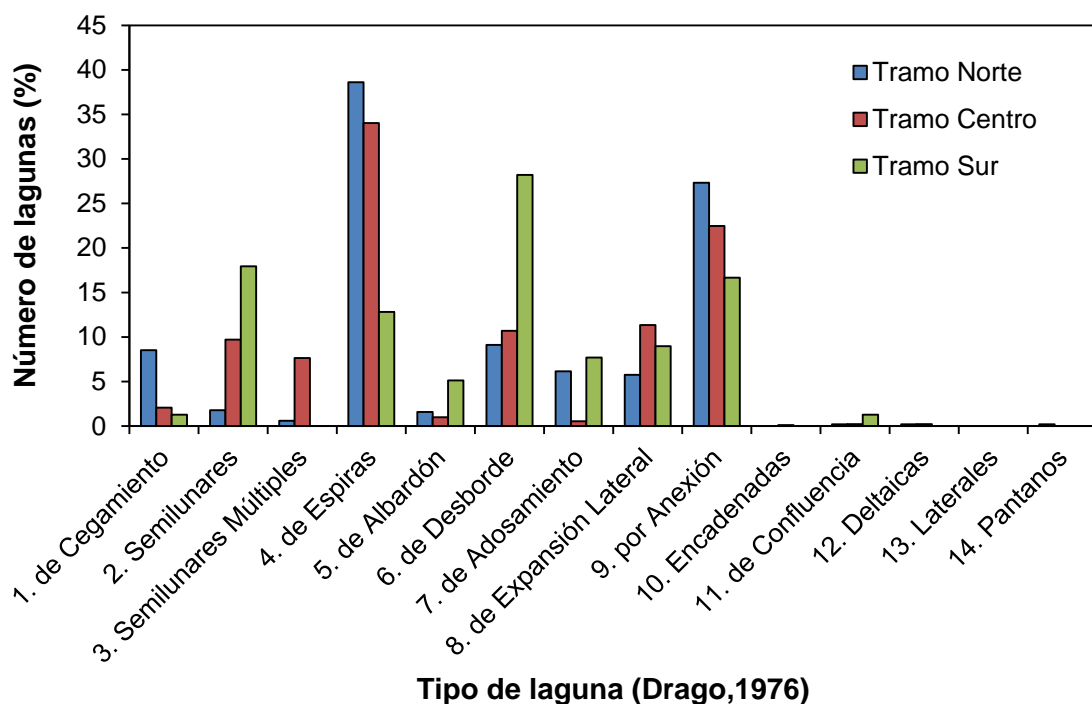
Figura 5.11: Cantidad de lagunas (%) en función de la clasificación genética de Tipos de lagunas de la planicie de inundación del Río Paraná Medio (Drago, 1976; 1.500 lagunas).



Con respecto a cada tramo estudiado, en el tramo Norte y Centro, hay una marcada presencia de las Lagunas de Espiras (con 38,6% y 34,0%, respectivamente),

continuando con las Lagunas por Anexión (27,3% y 22,5%) y el resto de las lagunas por debajo del 9,1 % en el tramo Norte y al 11,3% en el tramo Centro. En el tramo Sur, las Lagunas de Desborde son las más numerosas (28,2%), le siguen las Lagunas Semilunares (17,9%), luego las Lagunas por Anexión, prácticamente con el mismo porcentaje (16,7%), las Lagunas de Espiras (12,8%) y luego el resto de las lagunas en orden decreciente por debajo del 9,0 % (Tabla 5.3, Figura 5.12).

Figura 5.12: Número de lagunas (%) en función de la clasificación genética de Tipos de lagunas de Drago (1976) para cada tramo (Norte, Centro y Sur) de la planicie de inundación del Río Paraná Medio (1.500 lagunas).



Latrubesse (2012), estableció que las lagunas de la llanura de inundación del Amazonas pueden clasificarse genéticamente, en función de dos procesos fluviales principales. Por el primero de ellos, las lagunas se originan debido al desplazamiento lateral de los cauces en la llanura aluvial y por el segundo, las lagunas se generan por procesos de acreción vertical del cauce principal y por inundaciones en la llanura aluvial.

De acuerdo a estos dos procesos, en la planicie de inundación del Río Paraná Medio, el 46,8% de las lagunas tendrían su origen debido al desplazamiento lateral de cauces y el 53,1% por procesos de acreción vertical en el cauce principal y

por inundaciones en la planicie aluvial. Dentro del primer proceso genético se encuentran las Lagunas de Espiras y las Semilunares simples y múltiples. Para el segundo proceso, el resto de las lagunas (lagunas de Cegamiento, de Albardón, de Desborde, de Adosamiento, de Expansión lateral, por Anexión, Encadenadas, de Confluencia y Deltaicas; Tabla 5.3). Desde un punto de vista exclusivamente genético y considerando lo mencionado en cuanto a que más del 60% de las Lagunas por Anexión y todas las de Expansión Lateral, fueron cauces anteriormente, se deduce que el 71% se originaría como resultado de procesos por desplazamiento lateral de cauces y 28,9% por procesos de acreción vertical en el cauce principal y por inundaciones.

De acuerdo a la posición de las lagunas en el valle de inundación del tramo medio, se pueden diferenciar dos tipos: las denominadas Lagunas Externas y las Lagunas Internas (Paira y Drago, 2007). La diferencia radica en la incidencia de los cambios hidrosedimentológicos a que están sometidos ambos tipos de laguna debido a su posición dentro de la llanura aluvial. En efecto, las Lagunas Externas son las que se forman en las islas del cauce principal como también en la zona límite entre éste y la llanura de inundación, por lo cual acusan los fuertes cambios del Paraná en cuanto a aportes de agua y sedimentos; las Lagunas Internas, en tanto, se originan dentro de la llanura de inundación, producto de la evolución de los cauces secundarios de la llanura inundable, con aportes de agua y sedimentos, pero en menor cuantía y frecuencia. Existe una zona de transición entre ambos tipos en la que se pueden originar cambios morfológicos por los cuales las Lagunas Externas pueden cambiar a Internas y viceversa, en gran parte debido a la evolución y dinámica del propio cauce principal.

En las islas del cauce principal correspondientes a la unidad geomorfológica de Llanura de Bancos, se localizaron el 7,7% de las lagunas estudiadas. Todas ellas, corresponderían al tipo Lagunas Externas.

5.2.3. Análisis de la morfometría de las lagunas aluviales en las Unidades Geomorfológicas

Se examinan los valores y eventuales asociaciones con las unidades geomorfológicas de los parámetros e índices morfométricos, variables de conectividad hidrológica y biótica de los ambientes leníticos (definidos y calculados en los Capítulos 3 y 4, respectivamente), de 632 lagunas ubicadas en distintas áreas de las cinco unidades descriptas (Tabla 5.4).

Tabla 5.4: Número de lagunas estudiadas, superficies efectivas trabajadas con las fotografías aéreas, superficies de las Unidades Geomorfológicas, porcentajes de las áreas trabajadas y número de lagunas por km² en relación con la superficie efectiva trabajada del Río Paraná Medio.

Unidad Geomorfológica	Número de lagunas	Superficie efectiva trabajada (km ²)	Superficie Unidad Geomorfológica (km ²)	Porcentaje de la superficie trabajada	Número de lagunas por km ²
Llanura de Bancos	304	564	4.321	13,0	1,86
Llanura de Meandros	64	193	1.298	15,0	3,02
Llanura de Drenaje Impedido	37	60	2.498	2,4	1,62
Depósitos Antiguos (Terrazas)	147	433	2.654	16,3	2,95
Deltas de Tributarios	80	189	2.470	7,7	2,36

Si bien no fueron estudiadas (o fotointerpretadas) todas las lagunas existentes por cuestiones de escala, el número menor de lagunas por superficie trabajada resultó de 1,62 lagunas/km² para la Llanura de Drenaje Impedido y el mayor, 3,02 lagunas/km² para la Llanura de Meandros.

Arealmente, las lagunas ubicadas en la unidad Deltas de Tributarios son las de mayor superficie con una media aritmética de 0,75 km² y con un rango de 0,10 km² a 6,08 km². En cambio, las lagunas ubicadas en la Llanura de Meandros, con un área media casi similar (0,72 km²), pero con un rango de 0,03 km² a 9,28 km². Las lagunas localizadas en la Llanura de Drenaje Impedido presentan una media de 0,52 km² (rango de 0,03 km² a 5,68 km²). Las que se encuentran en la Unidad de Depósitos Antiguos (Terrazas) y Llanura de Bancos tienen áreas muy similares de 0,31 km² (rango de 0,01 km² a 2,75 km²) y 0,28 km² (rango de 0,01 km² a 3,68 km²), respectivamente (Tabla 5.5).

Tabla 5.5: Estadística descriptiva del área (km²) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza: 95%; n: número de lagunas).

Área	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (km ²)	0,28	0,72	0,52	0,31	0,75
Mediana (km ²)	0,15	0,20	0,25	0,18	0,38
Desvío estándar (km ²)	0,434	1,622	0,989	0,389	1,011
Coficiente de asimetría	4,46	4,12	4,41	2,96	3,93
Valor mínimo (km ²)	0,01	0,03	0,03	0,01	0,10
Valor máximo (km ²)	3,68	9,28	5,68	2,75	6,08
Área lenítica total (km ²)	85,9	45,9	19,2	45,6	59,7

El área lenítica total es de 2.825 km², que representa el 21,3% de la superficie de las unidades geomorfológicas. Las mayores áreas leníticas en relación con su superficie, la tienen la Llanura de Drenaje Impedido (32,0%) y la de Depósitos Antiguos (31,6%) y la menor la unidad de Depósitos Antiguos (10,5%; Tabla 5.6).

Tabla 5.6: Área lenítica (km²) y porcentaje en cada Unidad Geomorfológica.

Unidad Geomorfológica	Superficie Unidad Geomorfológica (km ²)	Área lenítica (km ²)	%
Llanura de Bancos	4.321	658	15,2
Llanura de Meandros	1.298	309	23,8
Llanura de Drenaje Impedido	2.498	799	32,0
Depósitos Antiguos (Terrazas)	2.654	279	10,5
Deltas de Tributarios	2.470	780	31,6
Total	13.241	2.825	21,3

Con respecto a la distribución de frecuencias de las áreas, el 63,8% de las 80 lagunas consideradas en la unidad Deltas de Tributarios tienen un área entre 0,10 km² y 0,50 km², el 15,0 % entre 0,50 km² y 1,00 km² y el 11,3 % entre 1,00 km² y 1,50 km². El 90,0 % de las lagunas alcanzan un área de hasta 1,50 km² (Figura 5.13: E).

El 78,1% de las lagunas examinadas de la Llanura de Meandros, eventualmente las más numerosas, tienen un área superficial entre 0,03 km² y 0,50 km² y el 6,3% tienen un área entre 0,50 km² y 1,00 km². Si bien el área máxima medida es de 9,28 km², solo se midieron tres lagunas entre 2,50 km² y 9,28 km². El 90,6% de las lagunas tienen un área hasta 1,50 km² (Figura 5.13: B).

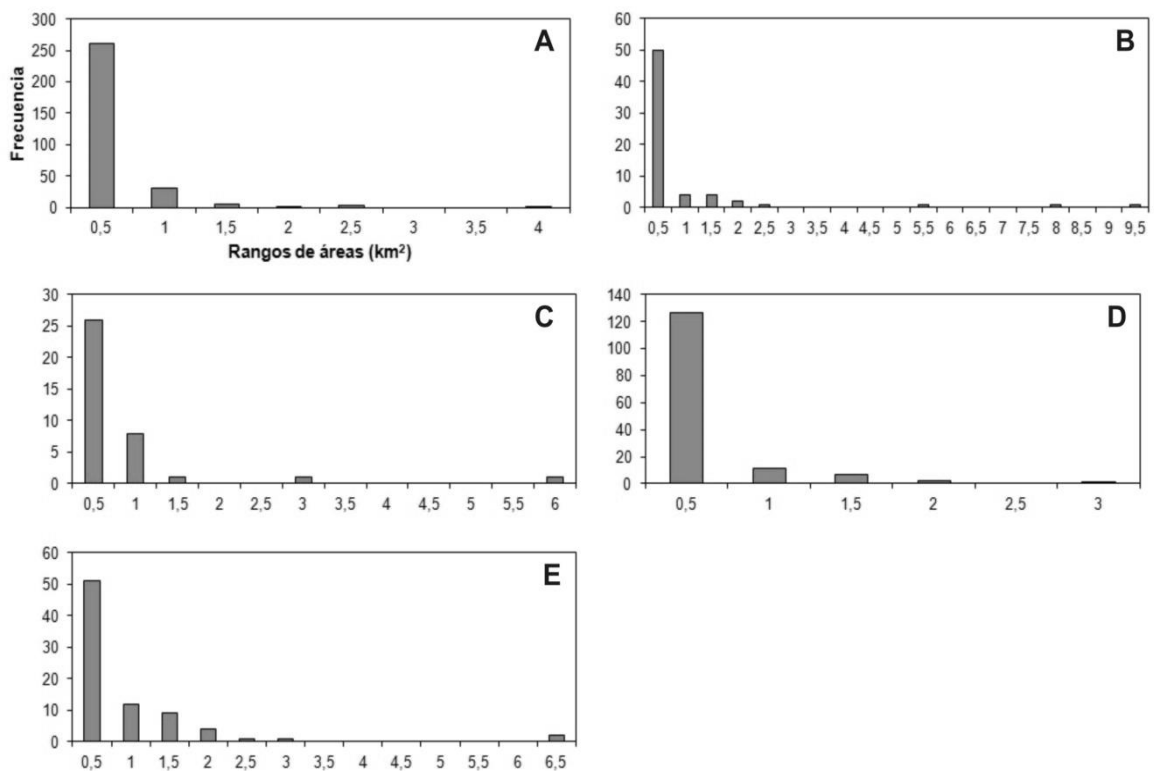
En la unidad Llanura de Drenaje Impedido, las lagunas más numerosas son las que presentan un área superficial entre 0,03 km² y 0,50 km² con el 70,3% de las 37

lagunas, luego desciende a 21,6% en las lagunas que tienen un área mayor a 0,50 km² y menor a 1,00 km². Si bien el área máxima medida es de 5,68 km², el 94,6% de las lagunas tienen un área hasta 1,50 km² (Figura 5.13: C).

En la unidad de Depósitos Antiguos, las lagunas más abundantes son las que tienen una superficie entre 0,01 km² y 0,50 km² con el 85,7% de las 147 lagunas medidas. El 7,5% están en el rango de áreas entre 0,50 km² y 1,00 km². El 98,0% de las lagunas tienen un área hasta 1,50 km² (Figura 5.13: D).

Las lagunas más numerosas en la unidad Llanura de Bancos son las que tienen un área superficial entre 0,01 km² y 0,50 km² con el 85,9 % de las 304 lagunas, luego descienden a un 9,9% las lagunas que tienen un área mayor a 0,50 km² y menor a 1,00 km². El 97,7% de las lagunas tienen un área que alcanza hasta 1,50 km² (Figura 5.13: A).

Figura 5.13: Histograma de frecuencias absolutas del área superficial (km²) para las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio. **A:** Llanura de Bancos (n=304 lagunas), **B:** Llanura de Meandros (n=64 lagunas), **C:** Llanura de Drenaje Impedido (n=37 lagunas), **D:** Depósitos Antiguos (Terrazas) (n=147 lagunas) y **E:** Deltas de Tributarios (n=80 lagunas).



Con respecto al perímetro lagunar, el mayor perímetro medio lo presentan las lagunas que se encuentran en la unidad de Llanura de Meandros con 3,91 km y un rango de 1,00 km a 27,00 km, les siguen las lagunas de Deltas de Tributarios con 3,77 km (rango: 1,40 km a 14,50 km), las ubicadas en Llanura de Drenaje Impedido con 3,63 km y rango de 0,60 km a 28,50 km, las de Llanura de Bancos con 3,01 km (rangos de 0,36 km a 22,00 km) y, finalmente, las de Depósitos Antiguos 2,71 km (rangos de 0,60 km a 10,80 km; Tabla 5.7).

Tabla 5.7: Estadística descriptiva del perímetro (km) de las lagunas, ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Perímetro	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (km)	3,01	3,91	3,63	2,71	3,77
Mediana (km)	2,20	2,50	2,40	2,10	2,80
Desvío estándar (km)	2,76	4,539	4,495	1,973	2,650
Coefficiente de asimetría	3,66	3,30	4,95	1,849	2,179
Valor mínimo (km)	0,36	1,00	0,60	0,60	1,40
Valor máximo (km)	22,00	27,00	28,50	10,80	14,50
Perímetro lenítico total (km)	914,7	250,0	134,4	398,8	301,4

Analizando la distribución de frecuencias absolutas del perímetro, se observa que en la Llanura de Meandros el 51,6% de las 64 lagunas, son las que tienen un perímetro entre 1,00 km y 2,50 km, 32,8% poseen un perímetro entre 2,50 km y 5,00 km. El 90,6% del total de los perímetros medidos en las lagunas es menor o igual a 7,5 km y el 93,9% tiene un perímetro menor o igual a 10,00 km (Figura 5.14: B).

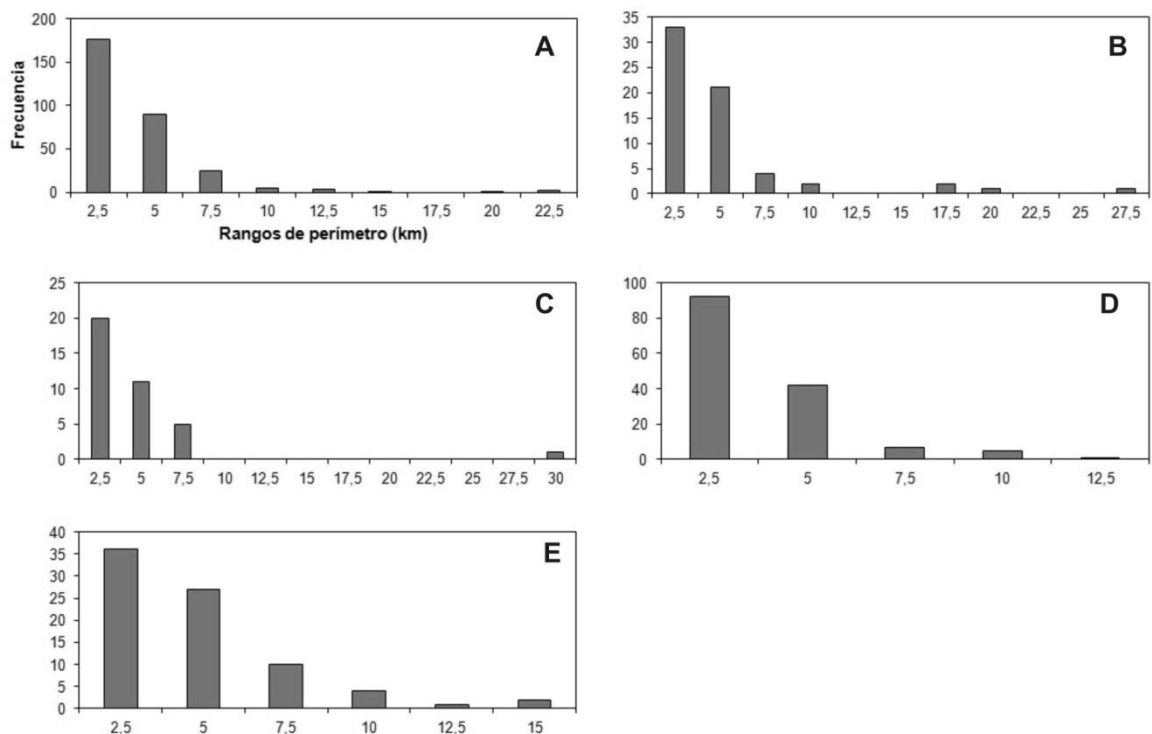
El 45,0% de las 80 lagunas en la unidad Deltas de Tributarios, tienen un perímetro entre 1,40 km y 2,50 km, en el 33,8% es mayor a 2,50 km y alcanzan hasta 5 km, y en el 12,5% desde 5 km hasta 7,50 km. El 91,3% del total de los perímetros medidos en las lagunas es menor o igual a 7,5 km y el 96,3% tiene un perímetro menor o igual a 10,00 km (Figura 5.14: E).

En la unidad Llanura de Drenaje Impedido, el 54,1% de las 37 lagunas, poseen un perímetro entre 0,60 km y 2,50 km, el 29,7% entre 2,50 km y 5,00 km y el 13,5% entre 5,00 km y 7,5 km. El 97,3% de las lagunas tiene un perímetro hasta 7,50 km y sólo una laguna con 28,50 km de perímetro (Figura 5.14: C).

El 57,9% de las 304 lagunas en la Llanura de Bancos, posee un perímetro entre 0,36 km y 2,50 km, el 29,6% entre 2,50 km y 5,00 km y el 8,2% entre 5,00 km y 7,50 km. El 95,7% de las lagunas tiene un perímetro hasta 7,50 km y el 97,4% hasta 10,00 km (Figura 5.14: A).

En los Depósitos Antiguos o Terrazas, el 62,6% de las 147 lagunas medidas, presentan un perímetro entre 0,60 km y 2,50 km, el 28,6% entre 2,50 km y 5,00 km y el 4,8% entre 5,00 km y 7,50 km. Además, el 95,9% de las lagunas tienen un perímetro que alcanza hasta 7,50 km y el 99,3% hasta 10,00 km (Figura 5.14: D).

Figura 5.14: Histograma de frecuencias absolutas del perímetro (km) para las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio. **A:** Llanura de Bancos (n=304 lagunas), **B:** Llanura de Meandros (n=64 lagunas), **C:** Llanura de Drenaje Impedido (n=37 lagunas), **D:** Depósitos Antiguos (Terrazas) (n=147 lagunas) y **E:** Deltas de Tributarios (n=80 lagunas).



Con respecto a la longitud máxima de las lagunas, la media resultó similar en las cinco Unidades Geomorfológicas. La mayor calculada corresponde a las lagunas ubicadas en la Llanura de Drenaje Impedido con 1,33 km, luego siguen las que se encuentran en la unidad Deltas de Tributarios, 1,29 km y con valor similar las de Llanura de Meandros de 1,25 km. Finalmente las menores longitudes medias se

midieron en los cuerpos de agua de la Llanura de Bancos con 1,18 km y en los Depósitos Antiguos con 1,07 km. El mayor intervalo de clases oscila entre 0,40 km y 9,20 km, y corresponde a las lagunas con mayor longitud máxima (Llanura de Drenaje Impedido) y el menor, de 0,20 km a 3,35 km, a las de menor longitud máxima (Depósitos Antiguos). El resto de los intervalos de longitud máxima son similares para las tres unidades restantes (Tabla 5.8).

Tabla 5.8: Estadística descriptiva de la longitud máxima (km) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Longitud máxima	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (km)	1,18	1,25	1,33	1,07	1,29
Mediana (km)	1,05	1,03	0,95	0,95	1,00
Desvío estándar (km)	0,756	0,957	1,430	0,646	0,835
Coefficiente de asimetría	1,96	2,56	4,89	1,36	1,85
Valor mínimo (km)	0,12	0,30	0,40	0,20	0,42
Valor máximo (km)	5,30	5,50	9,20	3,35	4,45

Con relación al Fetch, las lagunas que se encuentran en la unidad Deltas de Tributarios, son las que presentan sus espejos de agua más libres de obstáculos a la acción del viento con una media de 1,19 km. Le siguen las lagunas de las unidades Llanura de Meandros y de Drenaje Impedido con 1,09 km y, por último, las que se encuentran en la Llanura de Bancos (0,98 km) y de Depósitos Antiguos (0,95 km; Tabla 5.9).

Tabla 5.9: Estadística descriptiva del Fetch (km) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Fetch	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros N=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (km)	0,98	1,09	1,09	0,95	1,19
Mediana (km)	0,85	0,85	0,90	0,90	0,95
Desvío estándar (km)	0,510	0,865	0,716	0,523	0,700
Coefficiente de asimetría	1,59	3,08	3,20	1,40	1,77
Valor mínimo (km)	0,12	0,30	0,40	0,15	0,42
Valor máximo (km)	4,20	5,40	4,50	3,00	3,80

Las lagunas más anchas son las ubicadas en la unidad Deltas de Tributarios, con una media aritmética de 0,64 km, luego las de Llanura de Meandros (0,52 km), las de Drenaje Impedido (0,44 km), las de Depósitos Antiguos con 0,33 km y por último las de Llanura de Bancos con 0,30 km (Tabla 5.10).

Tabla 5.10: Estadística descriptiva del ancho máximo (km) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Ancho máximo	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (km)	0,30	0,52	0,44	0,33	0,64
Mediana (km)	0,21	0,30	0,35	0,25	0,48
Desvío estándar (km)	0,267	0,547	0,366	0,252	0,409
Coefficiente de asimetría	2,62	2,70	2,77	1,99	1,47
Valor mínimo (km)	0,04	0,06	0,10	0,10	0,13
Valor máximo (km)	1,90	3,00	2,05	1,40	2,00

Con relación a las profundidades de las lagunas, las máximas medias de las medidas en campo en las distintas Unidades Geomorfológicas, varía de 1,87 m a 0,84 m. Las lagunas en la unidad Deltas de Tributarios fueron las que presentaron la mayor profundidad media y la menor, las de Llanura con Drenaje Impedido. Las lagunas en la Llanura de Meandros, en la unidad Depósitos Antiguos y en Llanura de Bancos, presentaron profundidades medias de 1,60 m, 1,50 m y 1,42 m, respectivamente. Los rangos de profundidades comienzan aproximadamente con la misma profundidad mínima, pero las máximas profundidades fueron dispares corresponden a las lagunas localizadas en la Llanura de Bancos y Depósitos Antiguos y las más someras, a las ubicadas en la Llanura de Drenaje Impedido (Tabla 5.11).

Tabla 5.11: Estadística descriptiva de la profundidad máxima (m) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio, nivel de confianza 95%; n: número de lagunas.

Profundidad máxima	Llanura de Bancos n=156	Llanura de Meandros n=42	Llanura Drenaje Impedido n=29	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=87	Deltas de Tributarios n=53
Media aritmética (m)	1,42	1,60	0,84	1,50	1,87
Mediana (m)	1,22	1,26	0,70	1,05	1,75
Desvío estándar (m)	0,893	1,100	0,655	1,070	0,982
Coeficiente de asimetría	1,35	0,43	1,89	1,02	0,42
Valor mínimo (m)	0,25	0,27	0,22	0,25	0,30
Valor máximo (m)	5,00	4,00	3,10	4,70	4,00

Con respecto a los otros índices morfométricos presentados en el Capítulo 4 (relación longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa y profundidad relativa), a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Los mayores cocientes entre la longitud máxima y el ancho máximo lo poseen las lagunas ubicadas en la Llanura de Bancos, con una media de 5,71 y el menor las lagunas en Deltas de Tributarios con una media de 2,23. Estos valores están indicando la presencia de lagunas más alargadas (la longitud máxima, como mínimo, supera más de dos veces al ancho máximo en términos medios) en todas las Unidades Geomorfológicas (Tabla 5.12).

Tabla 5.12: Estadística descriptiva de la relación longitud máxima/ancho máximo (adimensional) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Relación longitud máxima/ancho máximo (adimensional)	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética	5,71	3,81	3,67	4,17	2,23
Mediana	4,50	2,16	3,00	3,33	1,90
Desvío estándar	4,360	3,615	2,34	3,151	1,192
Coeficiente de asimetría	1,95	2,03	1,244	2,74	2,57
Valor mínimo	1,09	1,09	1,05	1,00	1,00
Valor máximo	28,00	17,50	9,50	25,00	6,80

Los cálculos de la media aritmética del desarrollo de la línea de costa de las lagunas varían de 1,34 a 1,89 en las 5 Unidades Geomorfológicas. Estos valores estarían indicando la reducida presencia de lagunas con formas circulares y elípticas (Redondas-Ovaladas; Paira y Drago, 2006), lo que estaría evidenciando la presencia de lagunas con formas ahusadas, estiradas o alargadas (Alargadas; Paira y Drago, 2006; Tabla 5.13).

Tabla 5.13: Estadística descriptiva del desarrollo de la lista de costa (adimensional) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Desarrollo de la línea de costa (adimensional)	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética	1,89	1,63	1,72	1,57	1,34
Mediana	1,70	1,49	1,46	1,30	1,28
Desvío estándar	0,928	0,553	0,730	0,762	0,293
Coefficiente de asimetría	2,61	1,28	1,36	4,17	0,91
Valor mínimo	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00
Valor máximo	7,05	3,56	3,75	7,67	2,35

Tabla 5.14: Estadística descriptiva de la profundidad relativa (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Profundidad relativa (%)	Llanura de Bancos n=156	Llanura de Meandros n=42	Llanura Drenaje Impedido n=29	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=87	Deltas de Tributarios n=53
Media aritmética (%)	0,26	0,26	0,15	0,28	0,20
Mediana (%)	0,22	0,21	0,10	0,23	0,19
Desvío estándar	0,196	0,180	0,119	0,250	0,099
Coefficiente de asimetría	3,15	0,781	1,82	2,91	1,08
Valor mínimo (%)	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03
Valor máximo (%)	1,44	0,71	0,55	1,68	0,49

Los resultados presentados en las tablas se discuten en conjunto en el Capítulo 7: Discusión y Conclusiones.

5.2.4. Análisis de la cobertura de vegetación acuática, distribución perimetral de árboles y arbustos en las lagunas aluviales

Con respecto a los aspectos bióticos referidos en el título asociados a las lagunas aluviales y que eventualmente pueden estar relacionados con la temática que se trata en este capítulo, a continuación se presentan los resultados alcanzados. Cabe destacar que esos aspectos se vuelven a abordar con más detalle en el Capítulo 6, dada su fuerte incidencia en la evolución de los ambientes leníticos.

Los promedios de cobertura de vegetación acuática que cubre la superficie de las lagunas en cuatro de las cinco Unidades Geomorfológicas, variaron entre 45,8% y

39,3%. Las lagunas ubicadas en Deltas de Tributarios presentaron un porcentaje levemente menor (31,4%; Tabla 5.15). La cobertura varió entre ≈0% y 100% del área lagunar, es decir, en todos los casos se encontraron desde lagunas totalmente libres de vegetación acuática en su superficie a totalmente cubiertas.

Tabla 5.15: Estadística descriptiva de la cobertura de vegetación acuática (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Cobertura de vegetación acuática (% del área)	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (%)	40,7	39,3	44,7	45,8	31,4
Mediana (%)	30,0	30,0	30,0	40	15
Desvío estándar	36,2	34,4	39,1	39,8	32,2
Coefficiente de asimetría	0,52	0,56	0,38	0,20	1,06
Valor mínimo (%)	0	0	0	0	1
Valor máximo (%)	100	100	100	100	100

Con respecto a la distribución de árboles en el perímetro lagunar, los ambientes leníticos en la unidad Llanura de Bancos, presentaron la mayor cantidad de árboles, con casi la mitad de su contorno ocupado (44,5% del perímetro). Las lagunas de la Llanura de Meandros son las que menos árboles disponen en su perímetro (21,5%), posiblemente debido al diseño de su topografía de “bajos y lomadas” en donde escasean albardones consolidados para un buen soporte arbóreo (ver Capítulo 6: Factores internos o endógenos). En la Llanura de Drenaje Impedido, los árboles ocupan casi el 40% del perímetro, el 35,1% de las lagunas ubicadas en los Depósitos Antiguos y casi una cuarta parte del perímetro (24,6%) en las de Deltas de Tributarios (Tabla 5.16). En las 5 Unidades Geomorfológicas se pueden encontrar lagunas sin árboles en su contorno (0%) como en el 100% de éste.

Tabla 5.16: Estadística descriptiva de la distribución perimetral de árboles (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Distribución perimetral de árboles (% del perímetro)	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (%)	44,5	21,5	39,7	35,1	24,6
Mediana (%)	40,0	7,5	20,0	30,0	12,5
Desvío estándar	30,5	28,8	34,4	31,2	23,9
Coefficiente de asimetría	0,31	1,35	0,43	0,60	1,23
Valor mínimo (%)	0	0	0	0	0
Valor máximo (%)	100	100	100	100	95

La vegetación arbustiva, distribuida en el perímetro lagunar, es mayor en los cuerpos de agua ubicados en la unidad Llanura de Meandros (78,5% del perímetro), lo cual es compatible con lo explicado más arriba en cuanto a la topografía de “bajos y lomadas” en esa unidad. Los ambientes leníticos en Deltas de Tributarios tienen casi las tres cuartas partes de su perímetro ocupado por vegetación arbustiva (74,8%) y los presentes en la Llanura de Bancos muestran la menor presencia de arbustos (54,3%). En las unidades Depósitos Antiguos y Llanura de Drenaje Impedido, los porcentajes respectivos son similares, 61,6% y 60,3% (Tabla 5.17).

Tabla 5.17: Estadística descriptiva de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Distribución perimetral arbustiva (% del perímetro)	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética (%)	54,3	78,5	60,3	61,6	74,8
Mediana (%)	60,0	92,5	80,0	70,0	87,5
Desvío estándar	30,8	28,8	34,4	31,8	24,5
Coefficiente de asimetría	-0,24	-1,35	-0,43	-0,47	-1,17
Valor mínimo (%)	0	0	0	0	5
Valor máximo (%)	100	100	100	100	100

Al igual que los resultados de los parámetros morfométricos, éstos de cobertura de la vegetación acuática, distribución de árboles y arbustos en el perímetro lagunas, serán tratados en el Capítulo 7: Discusión y Conclusiones.

5.2.5. Análisis de la conectividad hidrológica de las lagunas aluviales

La conectividad hidrológica, tratada a nivel general de la planicie y por tramos es abordada en el Capítulo 4, se enfoca aquí desde el punto de vista de las Unidades Geomorfológicas. En tal sentido, es importante agregar que la conectividad (y los parámetros que la definen) determina el grado de ingreso de agua, sedimento y nutrientes a las lagunas de acuerdo al ritmo cambiante de la hidrología del sistema y, por lo tanto, es clave en la evolución de los ambientes leníticos como se verá en el Capítulo 6.

Las lagunas ubicadas en la unidad Deltas de Tributarios, son las que presentan mayor cantidad de cauces tributarios/emisarios en términos medios con casi dos por laguna (1,8 cauces). Le siguen las de Llanura de Meandros con 1,6 cauces. En las unidades Llanura de Drenaje Impedido y Depósitos Antiguos la media es de un cauce por laguna y en la de Llanura de Bancos de menos de uno (Tabla 5.18). La cantidad de cauces tributarios/emisarios varía de 0 a 7 por laguna en la Llanura de Meandros, hasta 6 en las lagunas de Deltas de Tributarios y en el resto hasta cinco cauces por laguna.

Tabla 5.18: Estadística descriptiva del número de tributarios/emisarios de las lagunas ubicadas en las distintas Unidades Geomorfológicas del valle aluvial del Río Paraná Medio (nivel de confianza 95%; n: número de lagunas).

Número de Tributarios/emisarios	Llanura de Bancos n=304	Llanura de Meandros n=64	Llanura Drenaje Impedido n=37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n=147	Deltas de Tributarios n=80
Media aritmética	0,6	1,6	1,0	0,9	1,8
Mediana	0	1	1	1	1
Desvío estándar	0,94	1,76	1,32	1,17	1,51
Coefficiente de asimetría	1,72	1,58	1,44	1,36	0,76
Valor mínimo	0	0	0	0	0
Valor máximo	5	7	5	5	6

En las Tablas 5.19 a 5.23, se contabilizaron los distintos tipos de conexiones y su porcentaje en relación al número total de lagunas consideradas en cada Unidad Geomorfológica.

Tabla 5.19: Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Llanura de Bancos del Río Paraná Medio.

Variables de conectividad hidrológica en Llanura de Bancos		
Tipo de conexión lagunar	Número de lagunas	% de 304 lagunas
Conexión directa a un cauce	76	25,0
Conexión directa a una laguna	120	39,5
Conexión directa con un cauce y con una laguna	37	12,2
Conexión indirecta a un cauce	228	75,0
Conexión indirecta a una laguna	182	59,9
Conexión indirecta con un cauce y con una laguna	144	47,4
Aislada	0	0

Tabla 5.20: Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Llanura de Meandros del Río Paraná Medio.

Variables de conectividad hidrológica en Llanura de Meandros		
Tipo de conexión lagunar	Número de lagunas	% de 64 lagunas
Conexión directa a un cauce	30	46,9
Conexión directa a una laguna	36	56,3
Conexión directa con un cauce y con una laguna	19	29,7
Conexión indirecta a un cauce	34	53,1
Conexión indirecta a una laguna	26	40,6
Conexión indirecta con un cauce y con una laguna	16	25,0
Aislada	0	0

Tabla 5.21: Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Llanura de Drenaje Impedido del Río Paraná Medio.

Variables de conectividad hidrológica en Llanura Drenaje Impedido		
Tipo de conexión lagunar	Número de lagunas	% de 37 lagunas
Conexión directa a un cauce	16	43,2
Conexión directa a una laguna	12	32,4
Conexión directa con un cauce y con una laguna	6	16,2
Conexión indirecta a un cauce	21	56,8
Conexión indirecta a una laguna	25	67,6
Conexión indirecta con un cauce y con una laguna	15	40,5
Aislada	0	0

Tabla 5.22: Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Depósitos Antiguos (Terrazas) del Río Paraná Medio.

Variables de conectividad hidrológica en Depósitos Antiguos (Terrazas)		
Tipo de conexión lagunar	Número de lagunas	% de 147 lagunas
Conexión directa a un cauce	37	25,2
Conexión directa a una laguna	65	44,2
Conexión directa con un cauce y con una laguna	18	12,2
Conexión indirecta a un cauce	110	74,8
Conexión indirecta a una laguna	82	55,8
Conexión indirecta con un cauce y con una laguna	61	41,5
Aislada	0	0

Tabla 5.23: Cantidad de lagunas según el tipo de conexión, para las lagunas de la Unidad Geomorfológica Deltas de Tributarios del Río Paraná Medio.

Variables de conectividad hidrológica en Deltas de Tributarios		
Tipo de conexión lagunar	Número de lagunas	% de 80 lagunas
Conexión directa a un cauce	42	52,5
Conexión directa a una laguna	43	53,8
Conexión directa con un cauce y con una laguna	23	28,8
Conexión indirecta a un cauce	38	47,5
Conexión indirecta a una laguna	37	46,3
Conexión indirecta con un cauce y con una laguna	17	21,3
Aislada	0	0

Se puede observar que, en un ciclo hidrológico de aguas bajas a medias, las lagunas de la red fluvial ubicadas en la unidad Deltas de Tributarios y en la Llanura de Meandros, presentan altos porcentajes de conexión directa a un cauce y directa con otra laguna, por separado (cauce o laguna) y simultáneamente (cauce y laguna). Las lagunas posicionadas en las unidades de Llanura de Bancos y Depósitos Antiguos, presentan la menor conectividad a la red fluvial.

5.2.6. Análisis de la morfología de las lagunas aluviales en los tramos Norte, Centro y Sur

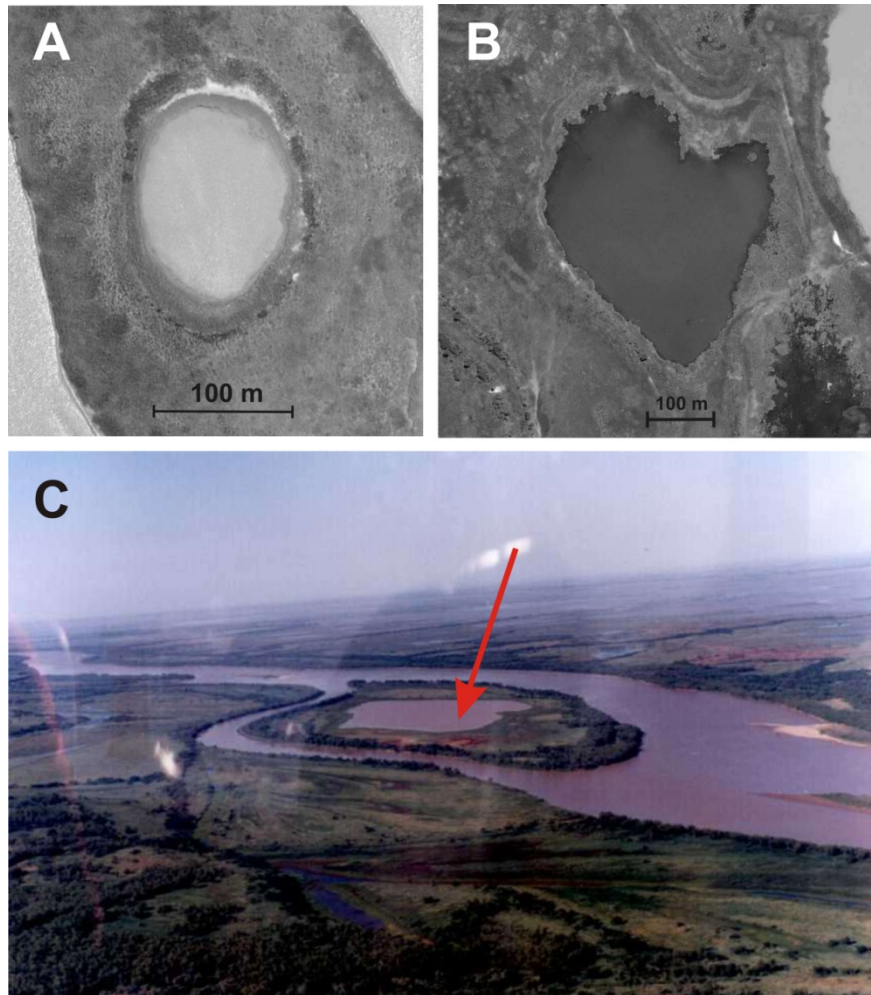
Las formas que presentan las lagunas aluviales pueden tener relación con el origen de las mismas (desarrollado en el ítem 5.2.2). Paira y Drago (2006), dividieron a las cubetas lagunares en las siguientes formas principales: Redonda-Oval, Alargada e Irregular (Tabla 5.24) y a continuación se expondrán las principales características y relaciones con su origen.

Tabla 5.24: Clasificación de formas de lagunas en la llanura aluvial del río Paraná Medio (Paira y Drago, 2006 y 2007).

- 1. Redondas-Ovaladas
- 2. Alargadas
 - 2.1. Alargadas Finas
 - 2.2. Alargadas Anchas
- 3. Irregulares

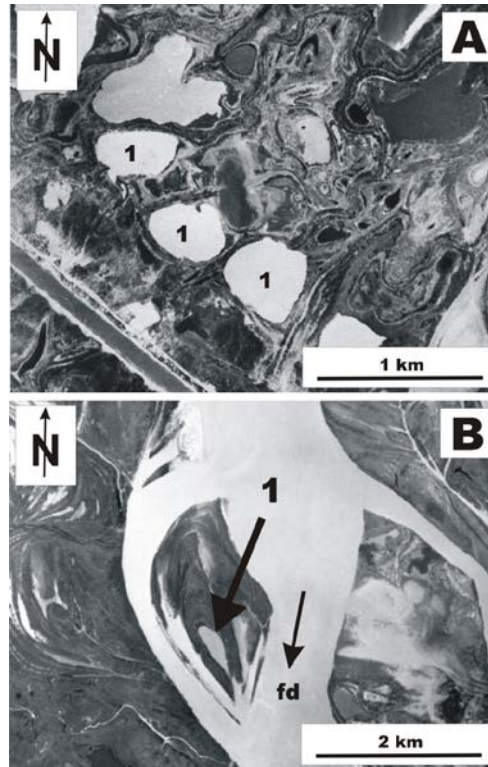
Las lagunas Redondas-Ovaladas, comprenden las cubetas que tienen forma circular y elíptica, como también las que presentan el aspecto de una "gota". Las lagunas con forma circular tienen un desarrollo de la línea de costa (D_L) desde 1 a 1,15; las elípticas un D_L desde 1,16 a 1,29 (Figura 5.15: A) y las de forma de gota presentan un D_L entre 1,30 a 1,99 (Figura 5.15: B; Contreras y Paira, 2015). Las lagunas con forma de "gota", son las que se forman mayoritariamente en las islas del cauce principal del Paraná Medio, son las denominadas "Lagunas de Albardón". También se forman dentro de las islas en los deltas internos de las grandes lagunas denominadas "Deltaicas" (Hutchinson, 1957; Drago, 1976; Timms, 1992; Figura 5.15: C).

Figura 5.15: Lagunas de Formas Redondas-Ovaladas (Paira y Drago, 2006). **A:** Circular-Elíptica con $D_L = 1$ a 1,29. **B:** Forma de "gota" con $D_L = 1,30$ a 1,99. **C:** Laguna de Albardón (indicada con la flecha roja) en la Isla El Grillo ($31^{\circ}49'47''$ S y $60^{\circ}42'17''$ O), Río Paraná. Fotografías A y B: Contreras y Paira, 2015. Fotografía C: Aldo Paira.



Un gran número de lagunas redondas y ovaladas, se localizan en las áreas más antiguas de la llanura de inundación. A pesar de tener la misma forma y ser generadas por el mismo proceso, la ubicación y la hidrología de las cubetas son diferentes. Las lagunas redondas y senescentes suelen estar asociadas con pantanos, que muestran sus costas con pendientes muy suaves cubiertas con vegetación acuática y palustre (Figura 5.16: A1) y aisladas de los cursos de agua durante largos períodos de tiempo. Por el contrario, las lagunas que están en las islas se encuentran completamente rodeadas por albardones que se comportan como diques de contención, no permitiendo que ingrese el agua del río y por ende, presentan también fases de aislamiento, pero más cortas (Figura 5.16: B1).

Figura 5.16: Lagunas con Formas Redondas-Ovaladas. **A1**: Lagunas Circulares y Elípticas en áreas antiguas, **B1**: Laguna con forma de “gota” en una isla del cauce principal del Río Paraná, fd: dirección de la corriente del agua. Fuente: Paira y Drago (2007).

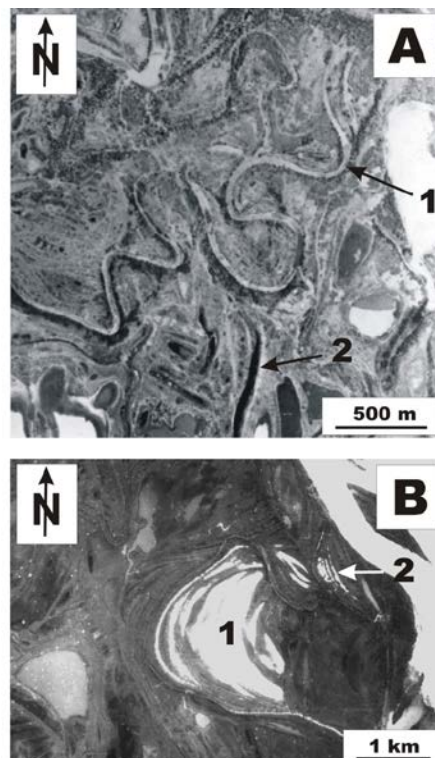


Las lagunas alargadas son aquellas cuyas cubetas presentan un desarrollo mayor en el sentido longitudinal, y con forma asociada a la de los cauces abandonados. Pueden ser "anchas" (Alargadas Anchas) o delgadas o "finas" (Alargadas Finas). Las lagunas Alargadas Anchas son bien definidas, y sus formas pueden resultar del abandono de tramos de cauces bastantes rectos por cegamiento o colmatación de la bocas de ingreso y confluencia. También suelen ser consecuencia del abandono de cauces meandriformes debido a la dinámica propia de este tipo de ríos (Schumm, 1977). Todos estos ambientes leníticos, mantienen las formas de los cauces originales durante largos períodos en su evolución morfológica, principalmente aquellos que fueron anchos y profundos. En esta clasificación, también están las cubetas originadas por el adosamiento de bancos e islas de cauce. Presentan un diseño alargado, ancho y a veces irregular. Tanto las lagunas originadas por procesos de cegamiento o adosamiento, pueden convertirse en ambientes lóticos durante las crecientes, pudiendo retomar sus características de un cauce con flujo normal. Existen numerosas lagunas formadas en cauces abandonados, las cuales no se originaron solamente por el abandono de un meandro (Figura 5.17: A1, 2). En efecto, pueden ser el remanente, producto de la sedimentación, de antiguos cauces sinuosos o meandros abandonados de la densa red de diseño anastomosado que disecta la planicie, y también de cortes producidos por los cauces que divagan en ella. Estas lagunas

Alargadas Anchas, presentan valores medios del cociente entre la longitud máxima y el ancho máximo (relación longitud máxima/ancho máximo) iguales a 1,8 y mayores.

Las lagunas Alargadas Finas, son las típicas lagunas de espiras, producto del desplazamiento serpenteante de un cauce. Son muy poco profundas y pueden perder su forma original debido, principalmente, a su fusión con otras lagunas del mismo tipo, conformando “lagunas por anexión de espiras” (entre las de Tipo 9 en Tabla 5.3). En este caso comparten una misma depresión agrupándose con forma irregular y, con el paso del tiempo, adquieren formas más redondeadas u ovaladas. A las Alargadas Finas denominadas “espina de pescado”, debido a que son muy angostas, largas y levemente curvas, con un D_L mayor a 3,5 (Paira y Drago, 2007). El promedio de esta forma de ambiente lenítico es de 3 por cada laguna de meandro (o Alargada Ancha), con un máximo de 25 (Paira y Drago, 2006; Figura 5.12: B). Como lo señalaron Mertes (1985), Mertes *et al.* (1996), Latrubesse y Franzinelli (2002) y Latrubesse (2012) para la llanura de inundación del Amazonas, las dimensiones de las lagunas de meandro y espiras en la planicie de inundación del Paraná, son también una consecuencia de los cambios relativamente rápidos de los cauces de la llanura de inundación con respecto a los resultantes de la propia dinámica del cauce principal.

Figura 5.17: Lagunas de Cauces Abandonados: **A**, 1 y 2. Lagunas Alargadas Finas: **B**, 1 y 2 (laguna “espina de pescado”). Fuente: Paira y Drago, 2007.

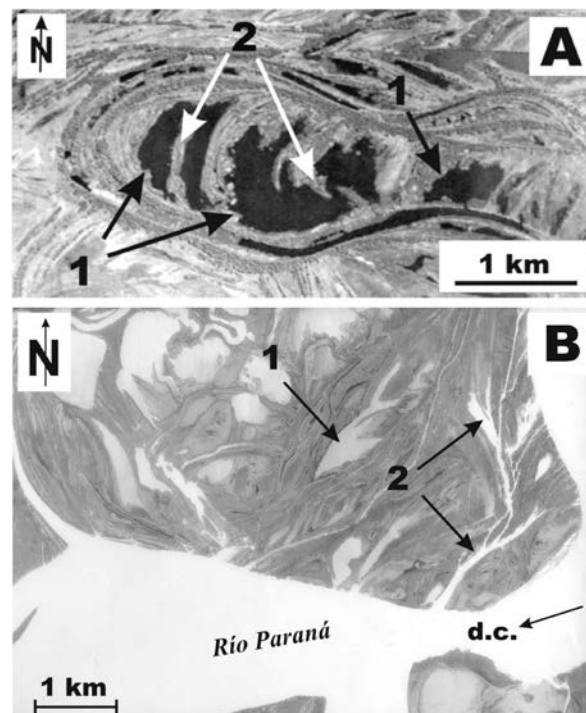


Dentro de las Alargadas Finas, se agrupan las lagunas correspondientes principalmente a las lagunas de Espiras (o “espina de pescado”). Las Alargadas Anchas, corresponden a las lagunas semilunares simples y múltiples, son las formadas en los meandros abandonados, como también a las lagunas de Cegamiento, Laterales y de Adosamiento.

En las lagunas Redondas-Ovaladas se agrupan las lagunas de Desborde, las de Albardón, las de Confluencia, Deltaicas y de Expansión Lateral. Las lagunas Irregulares, son mayoritariamente las de Anexión de Espiras. Además, las Encadenadas, pueden ser también algunas de Adosamiento y de Confluencia.

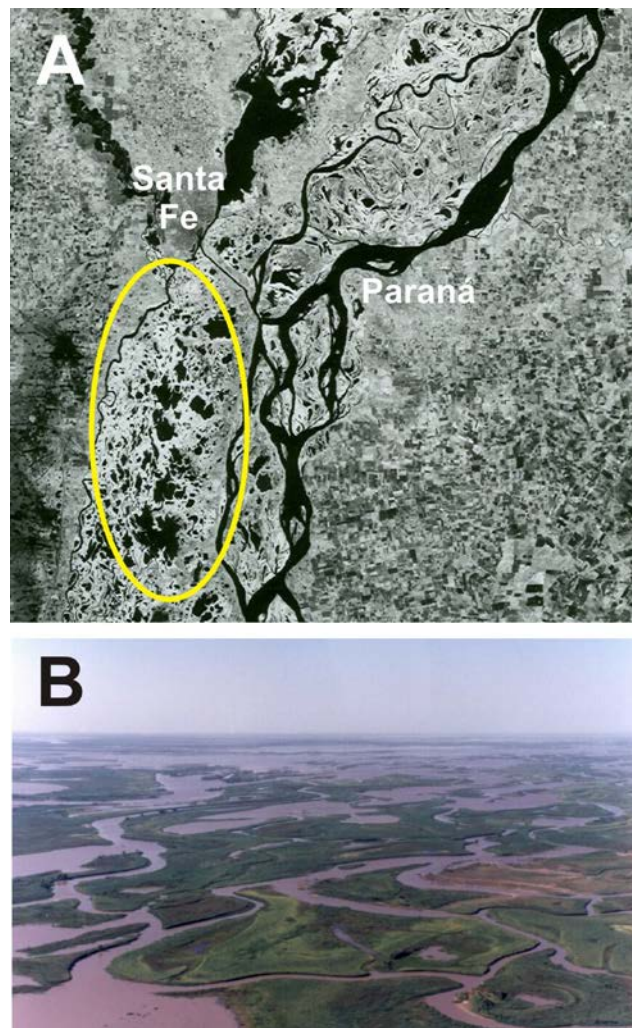
Las Lagunas Irregulares están formadas por la fusión de dos o más cubetas lagunares. Los ejemplos típicos y más numerosos, son las grandes lagunas irregulares formadas por la anexión o fusión de varias lagunas Alargadas Finas (o de Espiras) debido al desplazamiento lateral de los cauces meandríformes, como se explicó anteriormente. También, esta forma es el resultado de lagunas generadas por el proceso de adosamiento de grandes bancos e islas del cauce principal (Figura 5.18: A1, B1).

Figura 5.18: Lagunas de Forma Irregular en la llanura aluvial del Río Paraná Medio. **A:** 1, formadas por la anexión de varias Lagunas de Espiras (Alargadas Finas); 2, relictos de albardones e islotes. **B:** 1 y 2, formadas por el adosamiento de bancos e islas de cauce. d.c.: dirección de la corriente del agua. Fuente: Paira y Drago (2007).



Las Lagunas Irregulares son más frecuentes en las áreas de inundación afectadas por la Neotectónica (Iriondo 1988; Ramonell *et al.*, 2000; Orfeo y Stevaux, 2002), donde existe un marcado desarrollo de la red con diseño anastomosado (Figura 5.19).

Figura 5.19: **A**: Unidad Geomorfológica Deltas de Tributarios en el Tramo Sur con red de diseño anastomosado (incluida dentro de la elipse amarilla en la imagen satelital). **B**: La misma unidad en una fotografía aérea oblicua. Fotografía B: Aldo Paira.



Las formas de cuerpos leníticos más numerosas en la llanura de inundación del Río Paraná en su tramo medio, son las Alargadas (55,1%). Le siguen las Redondas-Ovaladas (24,2%) y las Irregulares (20,7%) (Paira y Drago, 2007).

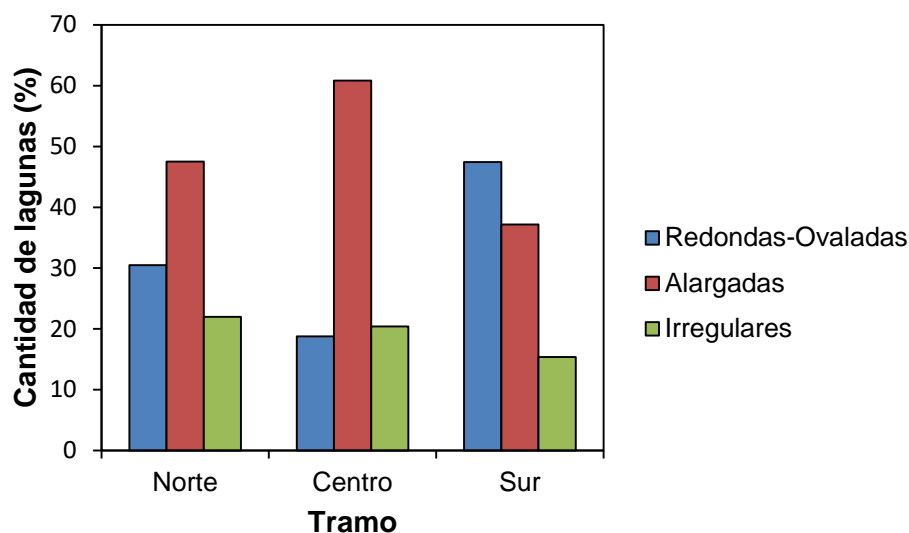
En el tramo Norte de la planicie, las frecuencias de formas siguen el mismo orden con los siguientes porcentajes: 47,5% 30,5% y 22,0%, respectivamente. En el

tramo Centro, predominan las lagunas con Forma Alargada (60,8% del total del tramo. Siguen las Irregulares (20,4%) y luego las de Forma Redondas-Ovaladas (18,8%). En el caso del tramo Sur, las lagunas Redondas-Ovaladas alcanzan un 47,4%, continúan las Alargadas (37,2%) y las Irregulares con un 15,4% (Tabla 5.25 y Figura 5.20).

Tabla 5.25: Porcentajes de lagunas por tramos (Norte, Centro y Sur) según la clasificación de Formas: Redondas-Ovaladas, Alargadas e Irregulares (Paira y Drago, 2006).

Forma	Tramo Norte (%)	Tramo Centro (%)	Tramo Sur (%)
Redondas-Ovaladas	30,5	18,8	47,4
Alargadas	47,5	60,8	37,2
Irregulares	22,0	20,4	15,4
Total	100,0	100,0	100,0
	505 lagunas	917 lagunas	78 lagunas

Figura 5.20: Cantidad de lagunas por tramo expresadas en porcentajes según la clasificación de Paira y Drago (2006).

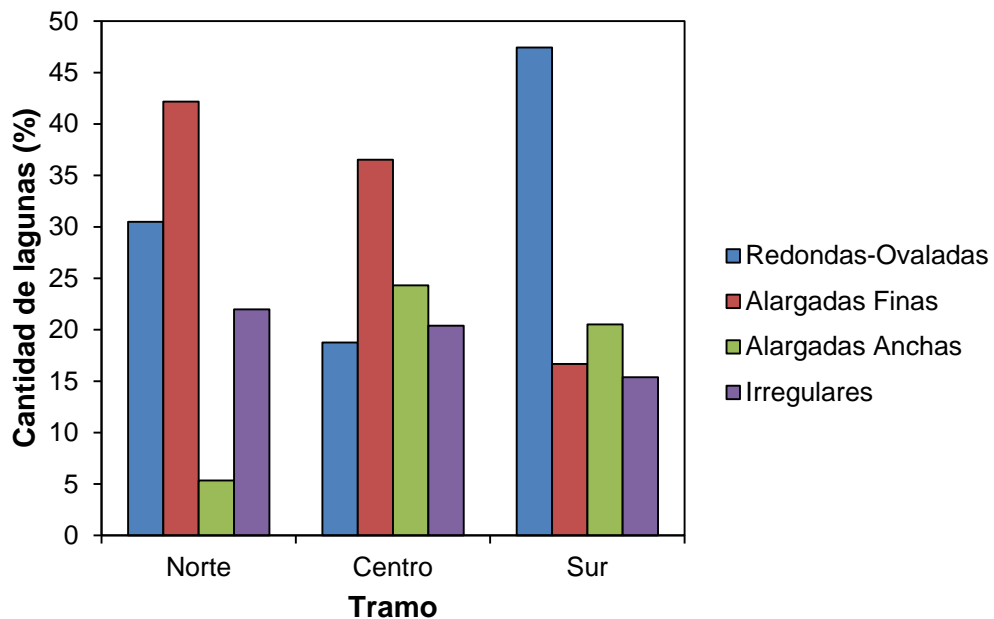


Examinando las frecuencias de lagunas Alargadas Finas en relación con las Anchas, en el tramo Norte las primeras (42,2%) superan ampliamente a las segundas (42,2% contra 5,3%). En el tramo Centro la diferencia no es tan grande (36,5% contra 24,3%). En el tramo Sur, predominan las Alargadas Anchas con un 20,5% contra un 16,7% de las Alargadas Finas (Tabla 5.26, Figura 5.21).

Tabla 5.26: Porcentajes de lagunas por tramos (Norte, Centro y Sur) según la clasificación de formas, dentro de las Redondas-Ovaladas: Circular-Elíptica y Gota, dentro de las Alargadas: Alargadas Finas y Alargadas Anchas, e Irregulares (Paira y Drago, 2006, 2007).

Forma	Tramo Norte (%)	Tramo Centro (%)	Tramo Sur (%)
Redondas-Ovaladas	30,5	18,8	47,4
Alargadas Finas	42,2	36,5	16,7
Alargadas Anchas	5,3	24,3	20,5
Irregulares	22,0	20,4	15,4
Total	100,0	100,0	100,0
	505 lagunas	917 lagunas	78 lagunas

Figura 5.21: Cantidad de lagunas por tramo, expresadas en porcentaje según la clasificación de Formas, las Redondas-Ovaladas, dentro de las Alargadas: Alargadas Finas y Alargadas Anchas, y las Irregulares (Paira y Drago, 2006, 2007).



Resumiendo lo presentado en cuanto a formas de lagunas, según la clasificación de Paira y Drago (2006), las Alargadas son las más numerosas en el Paraná Medio con predominio marcado, dentro de ellas, de las Alargadas Finas por sobre las Anchas. A continuación, y teniendo en cuenta estos resultados, se examina la existencia de eventuales asociaciones de las formas lagunares con la Unidades Geomorfológicas de la planicie.

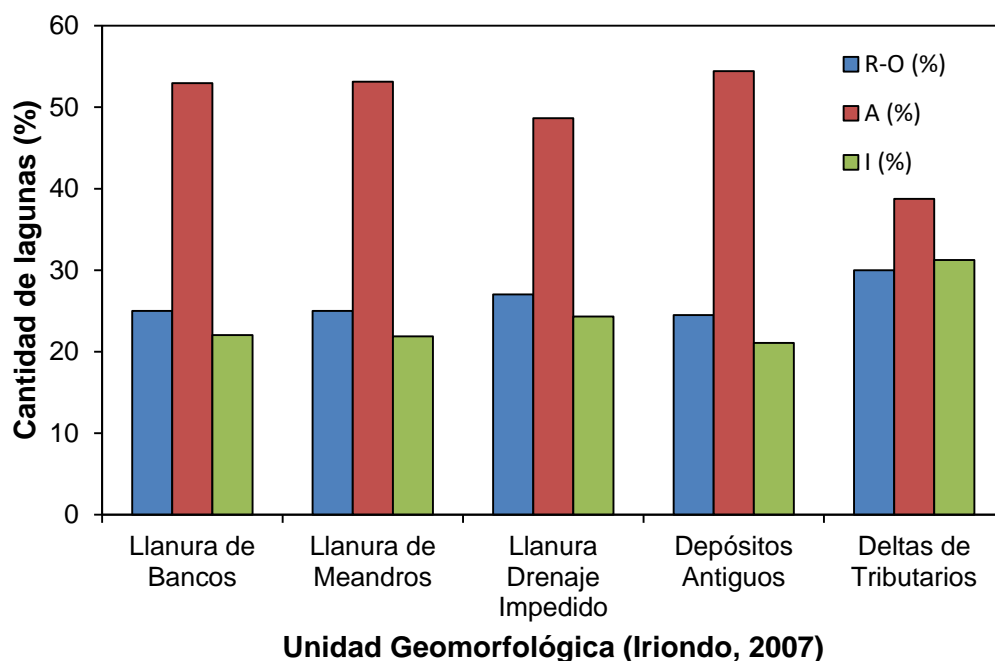
5.2.7. Análisis de las Formas de las lagunas aluviales en las Unidades Geomorfológicas

El análisis de una muestra de 632 lagunas ubicadas en las 5 unidades geomorfológicas descritas por Iriondo (2007), reveló (Tabla 5.27, Figura 5.22), que en la Llanura de Bancos más de la mitad de las lagunas (53,0%) son Alargadas. Siguen las Redondas-Ovaladas e Irregulares con porcentajes similares, 25,0%) y 22,0%, respectivamente. En la unidad Llanura de Meandros, la distribución es muy similar, esto es, 53,1% las lagunas Alargadas, 25,0% las Redondas-Ovaladas y 21,9% las Irregulares. En la Llanura de Drenaje Impedido se repite la misma distribución con los siguientes porcentajes: 48,7%, 27,0% y 24,3%, respectivamente. En los Depósitos Antiguos, la presencia de lagunas Alargadas es la más elevada de todas las Unidades Geomorfológicas (54,4%), siguiéndole también en cantidad las Redondas-Ovaladas (24,5%) y las Irregulares (21,1%). En la unidad de Deltas de Tributarios, si bien las lagunas Alargadas ocupan el primer lugar, su frecuencia es menor (38,7%) y la distribución de formas es más pareja ya que existe un 31,3% de lagunas Irregulares y un 30,0% de Redondas-Ovaladas.

Tabla 5.27: Porcentajes de lagunas por unidad geomorfológica según la clasificación de Formas (Paira y Drago, 2006). Número total de lagunas estudiadas: 632.

Unidad Geomorfológica (Iriondo, 2007)	Formas de lagunas (Paira y Drago, 2006)			Número de lagunas
	Redondas-Ovaladas (%)	Alargadas (%)	Irregulares (%)	
Llanura de Bancos	25,0	53,0	22,0	304
Llanura de Meandros	25,0	53,1	21,9	64
Llanura Drenaje Impedido	27,0	48,7	24,3	37
Depósitos Antiguos	24,5	54,4	21,1	147
Deltas de Tributarios	30,0	38,7	31,3	80

Figura 5.22: Cantidad de lagunas por unidad geomorfológica, expresadas en porcentaje según la clasificación de Formas, Redondas-Ovaladas (R-O), Alargadas (A) e Irregulares (I) (Paira y Drago, 2006, 2007).



Las unidades geomorfológicas del Río Paraná Medio están mayoritariamente ocupadas por lagunas de Formas Alargadas.

Las Formas de lagunas Redondas-Ovaladas ocupan el segundo lugar en presencia en las unidades geomorfológicas: Llanura de Bancos, Llanura de Meandros, Llanura de Drenaje Impedido y Depósitos Antiguos (Terrazas). El segundo lugar, en número, en la Unidad Deltas de Tributarios lo ocupan las lagunas con Formas Irregulares.

Las Formas de lagunas Irregulares se encuentran en tercer lugar ocupando las Unidades Geomorfológicas: Llanura de Bancos, Llanura de Meandros, Llanura de Drenaje Impedido y Depósitos Antiguos (Terrazas). En la Unidad Deltas de Tributarios las lagunas con Formas Redondas-Ovaladas ocupan el tercer puesto en existencia.

Capítulo 6: Evolución de las lagunas aluviales: Principales factores intervinientes y procesos

6.1. Introducción

En geomorfología sistémica, Capitanelli (1992), resume que el modelado terrestre es el resultado de la interacción de procesos endógenos (propios de la corteza terrestre) y exógenos (propios del conjunto atmósfera-hidrosfera-biosfera y las actividades humanas). Los procesos y las formas, constituyen la esencia misma de la geomorfología e interactúan con el medio ecológico y con un conjunto litológico-tectónico o estructura de base. No se puede dissociar un paisaje morfológico de uno biogeográfico. Esto es, para cada zona de vegetación y suelos existen procesos morfogenéticos específicos en un sistema de erosión organizado, que modelan familias de formas, constituyendo un gran dominio morfoclimático. Surge de aquí que el clima es el motor principal de la repartición de los seres vivos cuya distribución determina ambientes ecológicos particulares en donde se distinguen íntimas asociaciones de paisajes, animales y vegetales, tipos de suelos y procesos de erosión. En definitiva, las formas son el resultado de la estructura, clima y procesos zonales, en las cuales puede predominar, hasta cierto punto, un factor u otro, sin oponerse.

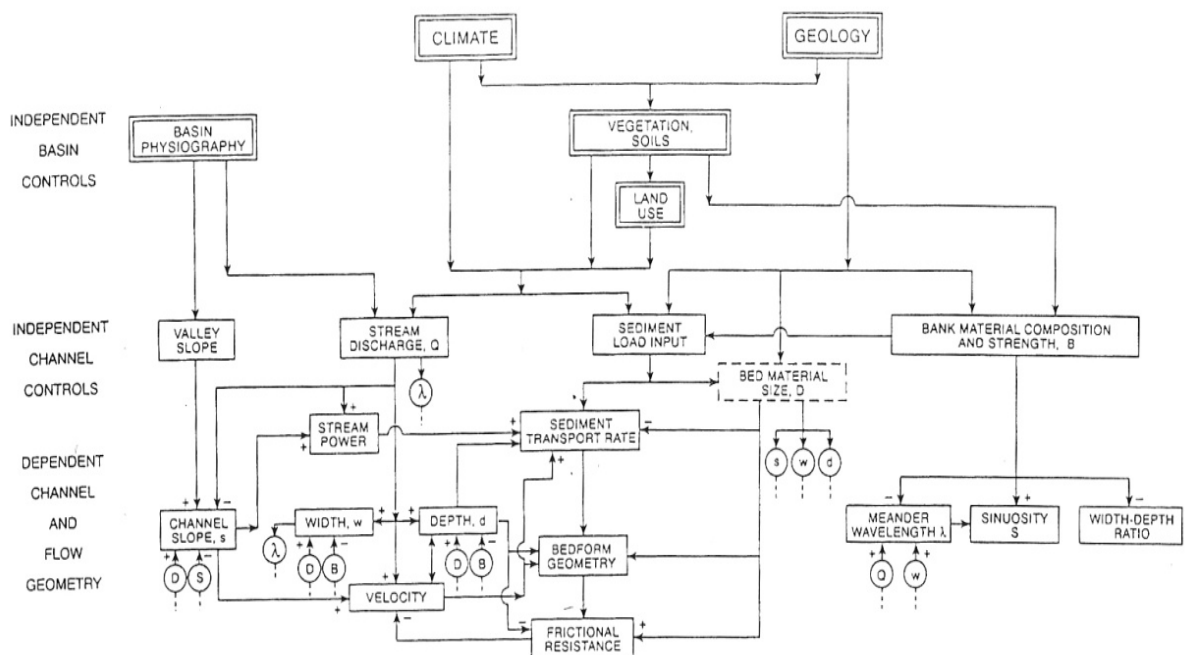
Capitanelli (1992), explica, además que formas, procesos y relaciones entre ellos, no conforman un sistema aislado, sino que interactúa con otros sistemas. Es decir, prácticamente la totalidad de los sistemas no operan aislados, sino que funcionan dentro de un ambiente formando parte de un conjunto mayor que puede denominarse Universo el cual comprende todos los fenómenos que inciden en el diseño geomorfológico incluyendo, los sistemas antecedentes. Dentro de esta línea argumental, este autor, distingue y denomina del siguiente modo a los sistemas involucrados: climático, biogeográfico, geológico, edafológico y antrópico. El climático, a través del calor, la humedad y los movimientos atmosféricos, sustenta y mantiene el dinamismo de los procesos; el biogeográfico (cubierta cubierta vegetal y vida animal), actúa como factor de diferenciación en la modalidad e intensidad de los procesos, además de suministrar y sustraer materia; el geológico, o disposición y variedad litológica, es un factor pasivo sobre el cual actúan los procesos y constituye la principal fuente de materia; el edafológico, engloba la naturaleza y distribución de los suelos; finalmente el antrópico, representado por la acción humana, es el factor responsable del cambio en la distribución de la materia y energía dentro de los sistemas y puede modificar el equilibrio de los mismos. Capitanelli (1992), concluye que la clasificación

de los hechos geomorfológicos, desde el punto de vista sistémico, tropieza con el inconveniente de que el estudio de las formas no ha evolucionado con similar grado de desarrollo que el de los procesos.

Dentro de este marco general, los ríos como son parte de la hidrosfera, constituyen componentes fundamentales del medio ambiente. Geomorfológicamente son agentes de erosión y transporte, con la capacidad de transportar agua y sedimentos desde la superficie terrestre al océano. En este trabajo mecánico e hidrológico, desarrollan una amplia gama de formas y redes fluviales. Dado que son sistemas abiertos que intercambian energía y masa con su entorno, cualquier modificación antrópica o genética en un río, tiene implicancias para la ecología circundante y la morfología de la cuenca. El control de inundaciones y sedimentos, así como otras prácticas tradicionales de la ingeniería fluvial, han creado y crean inestabilidades y problemas ambientales (Knighton, 1998).

Este último autor propuso un modelo detallado de las interrelaciones involucradas en el sistema fluvial, en el cual su geomorfología y dinámica están gobernadas por el clima, la geología, la vegetación y los suelos, considerados todos como controles independientes de la cuenca de drenaje (Figura 6.1).

Figura 6.1: Interrelaciones en el sistema fluvial. Las relaciones se indican como directas (+) o inversas (-). Las flechas indican la dirección de la influencia. Fuente: Knighton (1998).

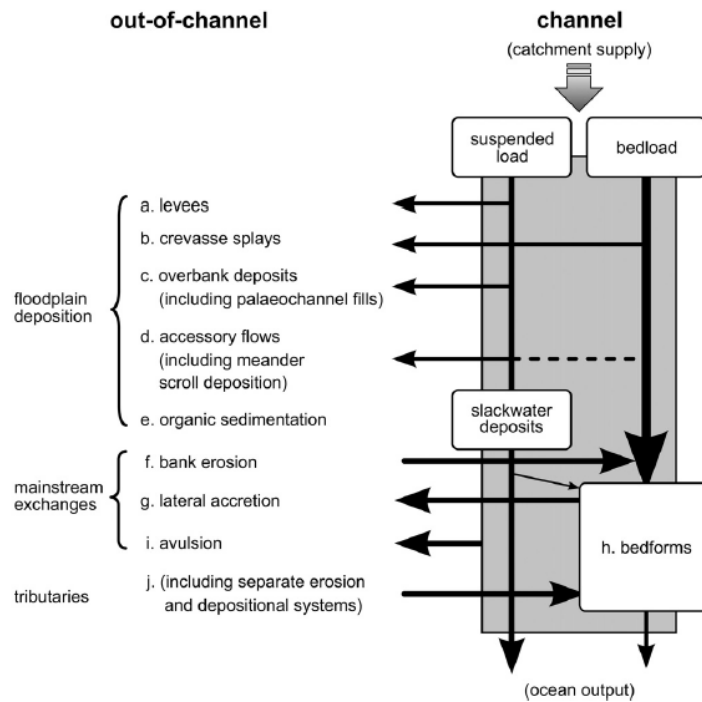


Se advierte que en el modelo de Knighton (1998) no se incluye la interferencia humana, directa o indirectamente. En este sentido el autor identifica dos tipos de intensidad creciente inducidos por el hombre a lo largo de los últimos 300 años tanto en las cuencas de drenaje como en sus cursos de agua. El primero incluye los cambios directos originados por la modificación del cauce, a menudo debido a obras de ingeniería diseñadas para aliviar los efectos de las inundaciones, la erosión o la deposición. El segundo tipo de cambios resultan de la actividad en las áreas extra-cauces, que modifican el caudal y/o la carga de sedimentos de la corriente. Knighton concluye que ambos tipos de cambios, tienen como característica la dispersión de sus efectos ya que se pueden reflejar a grandes distancias de donde se produjo la alteración inicial.

Como ya se mencionara, el sistema fluvial se puede caracterizar como un sistema abierto de energía y materia que, permite intercambios con el entorno exterior. En tal sentido, Schumm (1988), plantea que los cambios en el sistema fluvial a través del tiempo y el espacio, son la respuesta a procesos de erosión y deposición. Iriondo (2010), en este sentido, establece distintos niveles jerárquicos y clases abiertas.

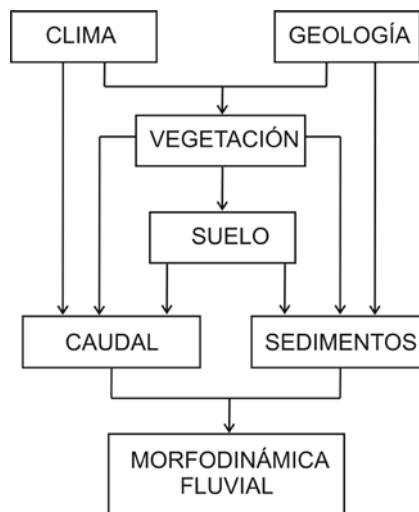
Con relación con estos intercambios, Ashworth y Lewin (2012), proponen un modelo donde sintetizan esquemáticamente las diversas formas de estos intercambios en grandes ríos aluviales, similares al Paraná en su tramo medio (Figura 6.2). Estos autores, agregan al hecho conocido en cuanto a la dependencia de la configuración aluvial de los aportes de agua y sedimentos (tanto en suspensión como de fondo) por parte del cauce principal y de los tributarios, los procesos de transferencia que ocurren dentro de la propia llanura aluvial y fuera de ella. Destacan que las formas y tamaños de los cauces reflejan, no solo las descargas líquidas y sólidas con desarrollo de formas de lecho en bancos e islas y procesos de agradación en zonas de aguas quietas y de inundación, sino también los fenómenos de reciclaje debidos a la erosión de esas formas de cauce y posterior acreción lateral formando nuevamente bancos o redireccionando cauces por avulsión. Estudios recientes realizados en el tramo medio del Río Paraná concuerdan con este enfoque (Pereyra *et al.*, 2009, 2010; Ramonell *et al.*, 2011).

Figura 6.2: Intercambios aluviales en ríos grandes: (a-e): depósitos en la llanura de inundación, (f, g, i): intercambios que implican al cauce principal y (h): depósitos dentro del cauce principal y (j): tributarios). Fuente: Ashworth y Lewin (2012).



En la Figura 6.3 se presenta un modelo simplificado de las interrelaciones en el sistema fluvial propuesto por Knighton (1998), con la intención de capturar sus rasgos esenciales reduciendo la complejidad de todas sus propiedades y relaciones. Tal modelo simplificado engloba las componentes principales del sistema que intervendrían en la evolución de las llanuras aluviales en la zona de estudio, la temática de este capítulo.

Figura 6.3: Interrelaciones en el sistema fluvial (adaptado de Knighton, 1998).



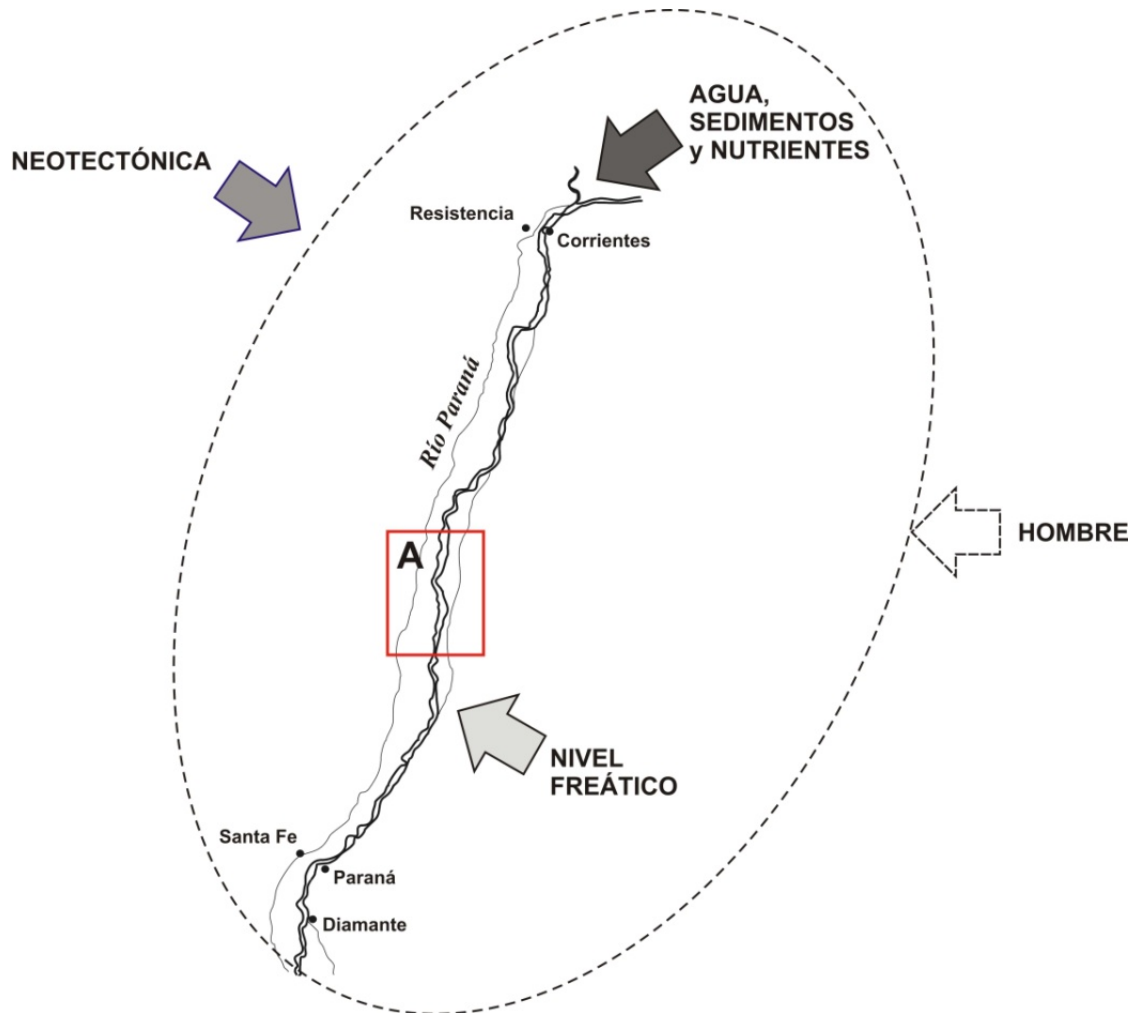
6.2. Factores condicionantes de la evolución de las lagunas aluviales

La existencia, morfometría y evolución de las lagunas aluviales, dependen de la dinámica hidrosedimentológica propia de los ríos circundantes (Petts y Amoros, 1996). Al mismo tiempo, sus diversas características físicas, químicas y biológicas, son consecuencia de esa dinámica (Paira y Drago, 2007). En relación con la evolución de los cuerpos de agua leníticos, estos autores propusieron tres factores principales a considerar: la *posición espacial* o mayor o menor distancia al cauce principal del Río Paraná y a cauces secundarios, la *orientación*, paralela o transversal, de la cubeta lagunar en relación con las direcciones predominantes del escurrimiento superficial de los cursos de agua, y su *elevación*, cota o altitud topográfica con respecto a los cauces activos.

Nuevas observaciones siguiendo el enfoque de la geomorfología sistémica de Capitanelli (1992), concluyeron en la necesidad de considerar otros factores, además de los mencionados. En conjunto es posible agruparlos del siguiente modo: *Factores externos o exógenos*, *Factores internos o endógenos* de la llanura aluvial, *Factores morfométricos y bióticos* y *Factor reinicio* de las lagunas aluviales. Este análisis del proceso evolutivo parte de una forma inicial y concluye con una final siguiendo una clasificación dada de formas de lagunas, como la de Paира y Drago (2007).

En la llanura aluvial del Río Paraná Medio, los *Factores externos o exógenos* son aquellos asociados a procesos que ocurren en el exterior del entorno de la llanura pero con consecuencias en ella. Se consideran aquí, fundamentalmente, los sucesos que acontecen en la cuenca superior del Paraná y tributarios más importantes. Implican el *ingreso de agua* en la planicie de inundación debida a los caudales y el aporte de las precipitaciones; el *ingreso de sedimentos* finos y gruesos suministrados a la llanura aluvial y el *ingreso de nutrientes* que trae el río. También interviene, el *nivel freático* o nivel de la superficie libre del acuífero en la llanura aluvial. Otro de los Factores Externos a considerar es la *neotectónica*, que afecta a distintas partes de la cuenca del Paraná (Iriondo, 1988; Ramonell *et al.*, 2000), visible por la acumulación de agua en depresiones asociadas a paleocauces y en zonas afectadas por el levantamiento y hundimiento neotectónico (Paira y Drago, 2007). Por último, si bien no menos importante, figura el accionar del *hombre* en la cuenca de drenaje (Figuras 6.4 y 6.7, Tabla 6.1).

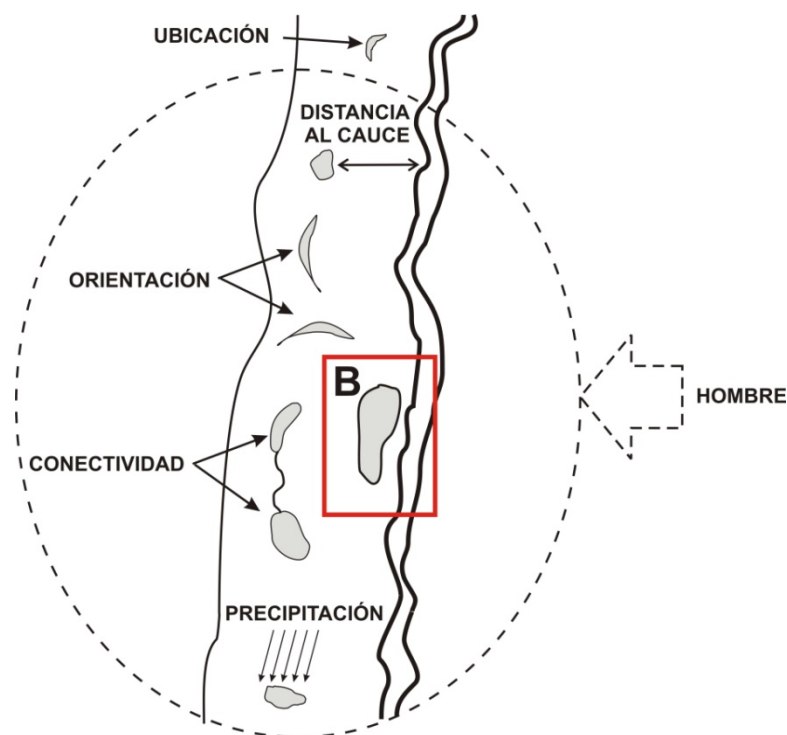
Figura 6.4: Factores externos o exógenos a la llanura aluvial del Río Paraná Medio. **A**: sector general de planicie vinculada con los factores internos o endógenos (ver Figura 6.5 y texto).



Los *Factores internos o endógenos*, contemplan el ámbito físico donde suceden los procesos fluviales, esto es, el “paisaje fluvial” donde se encuentran las lagunas dentro del espacio geográfico (Dollfus, 1983). Entre ellos figuran: la *ubicación* de la laguna dentro de la unidad geomorfológica que incluyen, la *cota* o altitud topográfica y las *pendientes* longitudinales y transversales del área circundante al ambiente lenítico con respecto al escurrimiento general; la *distancia* de la laguna con respecto al cauce principal del Paraná o al cauce secundario más cercano; la *orientación* que presenta la cubeta lagunar, también aquí en relación al cauce principal o secundario más próximo; las condiciones de *conectividad* (asociadas al suministro de agua y sedimento) como la *cantidad de tributarios y/o emisarios* que tiene cada laguna y el *grado y tipo de conexión* (Drago, 1981), juegan un rol clave en la evolución

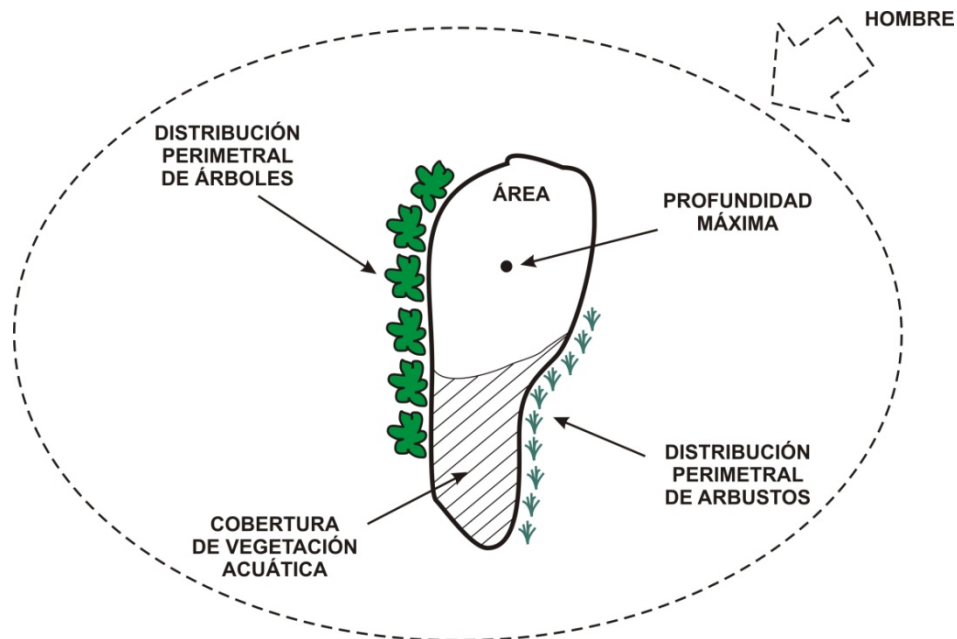
lagunar; las *precipitaciones* locales, que pueden incidir en el nivel de agua de las lagunas, aportando también sedimentos y nutrientes por arrastre de las zonas más elevadas y de la zona de transición acuática-terrestre (ATTZ; Junk *et al.*, 1989), o humedal fluvial marginal (Neiff, 1994; 1999), o ripario (Mitsch, 1996). Finalmente, la *actividad humana* local en la propia llanura aluvial, puede tener impactos a muy corto plazo (Figura 6.5 y 6.7, Tabla 6.1).

Figura 6.5: Factores internos o endógenos de un tramo de la llanura aluvial del Río Paraná Medio. **B**: sector incluyendo una laguna cualquiera de la planicie vinculada con los factores morfométricos y bióticos (ver Figura 6.6 y texto).



Los *Factores morfométricos y bióticos* figuran los relacionados con algunos de los parámetros presentados en el Capítulo 4, estos son: el *área* de la superficie de la laguna; su *profundidad máxima*; la *cobertura de vegetación acuática* que cubre su espejo de agua o superficie de vegetación existente y la *distribución de árboles y arbustos* a lo largo del perímetro lagunar. Al igual que con los factores externos e internos, aquí también la *actividad humana* incide en los cambios morfométricos de las lagunas y en la biota (Figura 6.6 y 6.7, Tabla 6.1).

Figura 6.6: Factores morfométricos y bióticos de las lagunas aluviales de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



El *Factor reinicio* es otro factor muy importante que interviene en la evolución y está presente en todos los factores mencionados, pudiendo actuar en cualquier momento del proceso evolutivo (Figura 6.6 y 6.7, Tabla 6.1).

La elección de una escala de tiempo adecuada para estudiar las relaciones físicas ha sido un tema recurrente entre los geomorfólogos (Knighton, 1998). El tiempo es una variable continua, y este autor define períodos de tiempo representativos como: a) escala de tiempo instantánea (menor a 10^{-1} años), b) escala de tiempo corta (10^1 a 10^2 años), c) escala temporal media (10^3 a 10^4 años) y d) escala de tiempo larga (mayor a 10^5 años).

En función de esta escala temporal, dentro de los *Factores externos o exógenos*, el *Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes*, es el más importante, en cualquier escala de tiempo desde la instantánea ($<10^{-1}$ años) hasta la larga ($>10^5$ años), siempre y cuando no se produzcan cambios drásticos en la cuenca, como por ejemplo los relacionados con los movimientos geológicos que cambien el curso del Río Paraná. La *Neotectónica*, se encontraría dentro de la escala temporal media (de 10^3 hasta 10^4 años) y larga (mayor a 10^5 años), debido a que influiría de manera imperceptible en la geometría de las lagunas por los muy pequeños hundimientos y afloramientos, si bien, como se mencionó en el Capítulo 5, el valle del Paraná se encuentra en una fosa tectónica y con lineamientos con varias direcciones (Iriondo,

1988, 2007; Paoli *et al.*, 2000). El *Nivel freático*, es un factor incidente significativo en aquellas lagunas con cotas más bajas y próximas a éste. Este factor variará en relación directa con el *Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes* y con el mismo ciclo hidrológico del agua y en la misma escala que este último.

Dentro de los *Factores internos o endógenos*, la ubicación de la laguna en la unidad geomorfológica, permanece inalterable, debido a que las unidades geomorfológicas permanecerán mientras el Río Paraná no sufra un cambio geológico. Como unidad geomorfológica, este factor se encuentra ubicado en la misma escala de tiempo que la *Neotectónica*, pero se analiza también dentro de este factor, la *Cota* y la *Pendiente* de la zona donde se encuentra el ambiente lenítico. La *Cota* y la *Pendiente* locales, si bien no están excluidas de la pendiente general del valle de inundación del Paraná, donde esta última, es una característica heredada que determina la pérdida de energía a lo largo de un río y que puede modificar las formas fluviales. De todos modos, se ubicarían dentro de las escalas de tiempo similares al *Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes*. Las *Distancias de la laguna al cauce principal o secundario* es un factor clave en la evolución y esto se debe a su directa relación con la *Conectividad*. Tal es así, que el fin de la existencia de las conexiones o la transición hacia un aislamiento, indicaría la presencia de lagunas más evolucionadas o en camino a la senescencia en escalas de tiempo desde instantáneas, hasta largas. La *Orientación* de la laguna, es un factor significativo debido a la posibilidad que tiene la cubeta hacia un reinicio y prolongar su evolución. Este factor no puede cambiar con el tiempo, y es debido a su génesis, en donde las escalas de tiempo serán desde media a larga. Las *Precipitaciones* locales alteran el nivel del agua y su composición, en forma repentina y por lo tanto, en una escala de tiempo instantánea.

En los *Factores morfométricos y bióticos*, el *Área* y la *Profundidad* juegan un papel trascendente en escalas de tiempo instantánea hasta corta. En la escala de tiempo instantánea, porque se pueden observar, por ejemplo, los cambios del área y de profundidad durante el paso de las inundaciones. En la escala de tiempo corta, que es la más significativa desde el punto de vista observacional, debido a que se pueden observar cambios bien definidos de los parámetros morfométricos y morfológicos lagunares en la escala de vida humana. Dentro de esta última escala, la vegetación juega varios roles: influyendo en la estabilización de los sedimentos, como por ejemplo, los camalotes y también como barrera o restricción, particularmente los bosques isleños.

Otro de los factores, el *Hombre*, con una larga historia de actividad antrópica, hace improbable que los ambientes fluviales no hayan sido afectados por

modificaciones inducidas por éste y considerado uno de los factores que influye a distintas escalas temporales (Knighton, 1998).

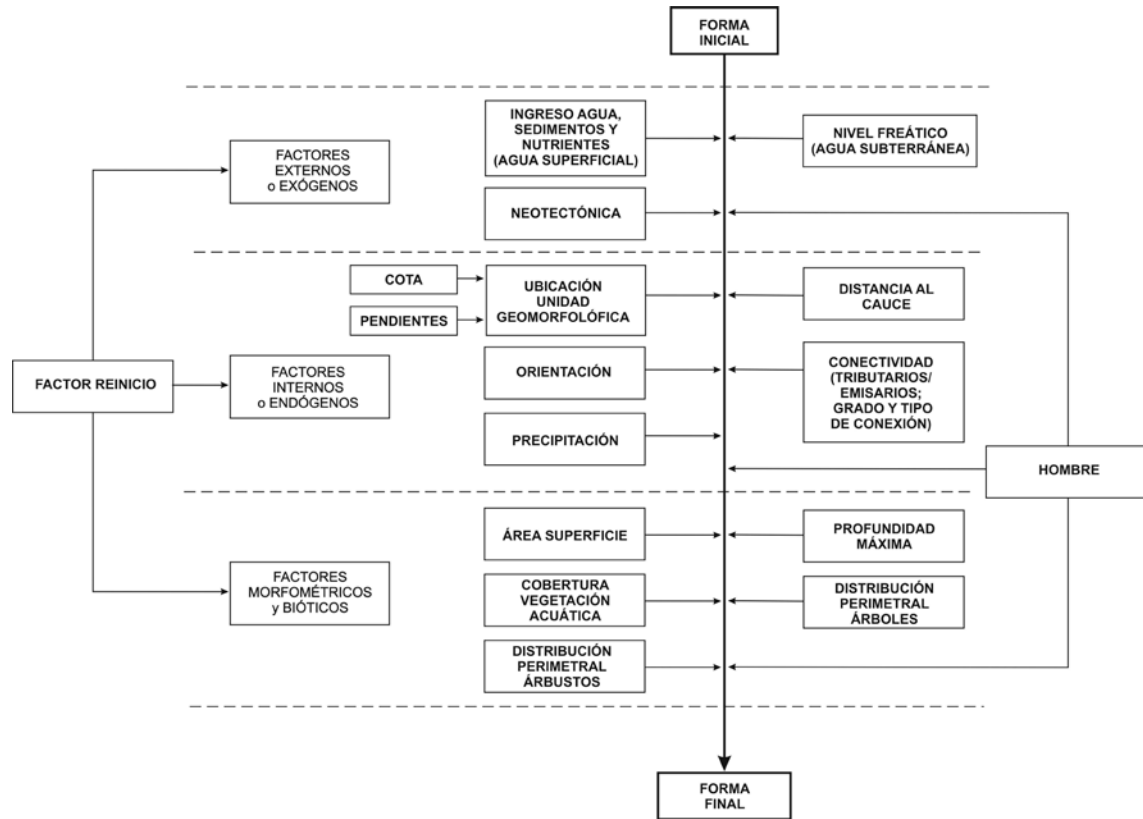
Por último, el *Factor reinicio*, es un componente de la evolución de las lagunas que actúa en las distintas escalas de tiempo.

Tabla 6.1: Factores incidentes en la evolución de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio.

- **Factores externos:**
 - Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes
 - Nivel freático
 - Neotectónica
 - El hombre
- **Factores internos:**
 - Ubicación de la laguna en la unidad geomorfológica
 - Cota o altitud topográfica
 - Pendientes longitudinal y transversal
 - Distancia al cauce principal y al cauce secundario
 - Orientación de la cubeta lagunar
 - Conectividad (Número de tributarios y emisarios; Grado y tipo de conexión)
 - Precipitación
 - El hombre
- **Factores morfométricos y bióticos:**
 - Área superficie lagunar
 - Profundidad máxima
 - Cobertura de la vegetación acuática
 - Distribución perimetral de árboles
 - Distribución perimetral de arbustos
 - El hombre
- **Factor Reinicio**

En la Figura 6.7 se presenta el modelo conceptual en función de los factores incidentes en la evolución de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio, desarrollándose cada uno de ellos a lo largo del capítulo.

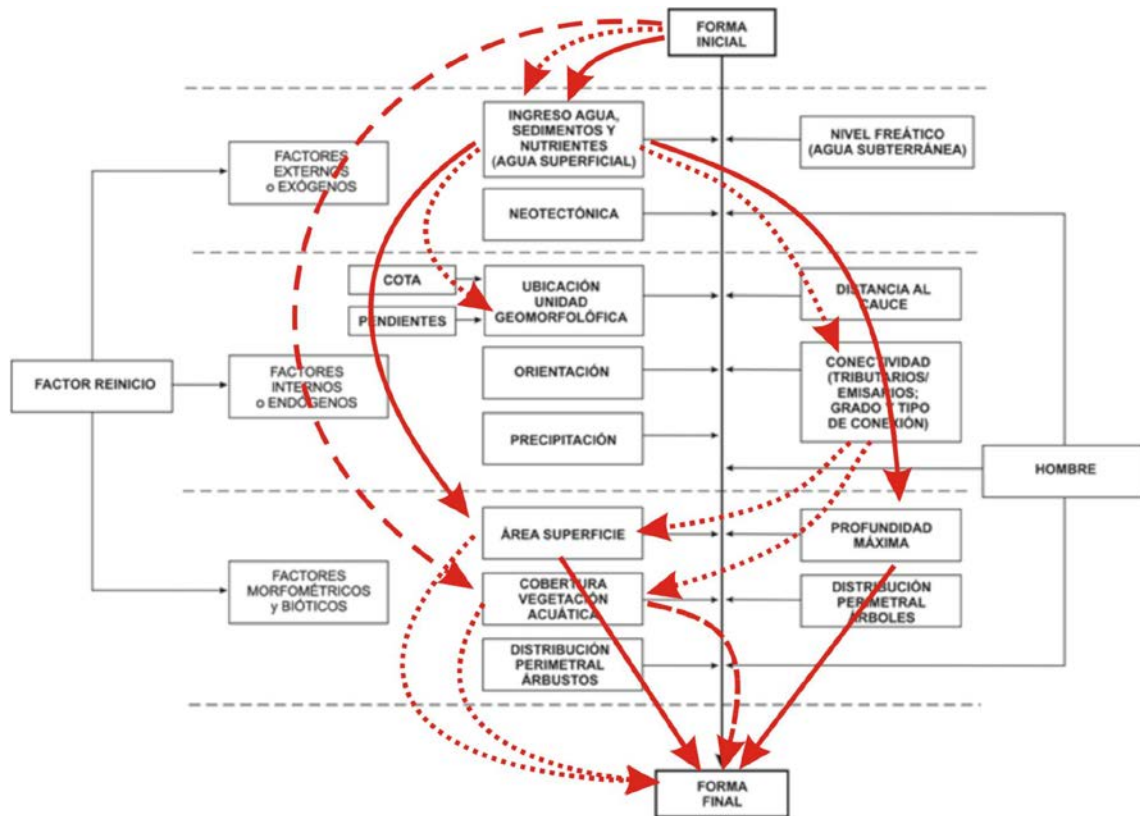
Figura 6.7: Modelo conceptual de factores *externos o exógenos, internos o endógenos, morfométricos y bióticos y reinicio* que inciden en la evolución de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio.



Todos los factores detallados influyen en la evolución de las lagunas aluviales en forma individual, o puede predominar un factor u otro o combinarse dos o más de ellos, a través de interrelaciones. Tres ejemplos hipotéticos y gráficos de estas situaciones se pueden apreciar en la Figura 6.8. El primero de ellos, en una escala de tiempo corta, con el ingreso de agua, sedimentos y nutrientes, afectan el área superficial de la laguna, al igual que se produce una colmatación que conducen al cambio de forma (línea roja continua). Otra situación, en una escala de tiempo instantánea, con el ingreso de agua, sedimentos y nutrientes resultante de una inundación, se produce un cambio en la cota de la laguna aumentando su conectividad, aumentando su superficie y eliminando la vegetación acuática que la cubría, produciéndose un cambio de forma (línea roja de puntos). La tercera situación, en una escala de tiempo corta, a través del desarrollo de la vegetación acuática, va afectando la forma lagunar con el paso del tiempo (línea roja de trazos).

En este Capítulo serán desarrollados distintas evoluciones de lagunas debidas a la incidencia de los distintos factores.

Figura 6.8: Ejemplos de interrelaciones de factores incidentes en la evolución lagunar.



A continuación se tratan en detalle los distintos factores presentados: *Factores externos o exógenos*, *Factores internos o endógenos* de la llanura aluvial, *Factores morfológicos y bióticos* y *Factor reinicio* de las lagunas aluviales.

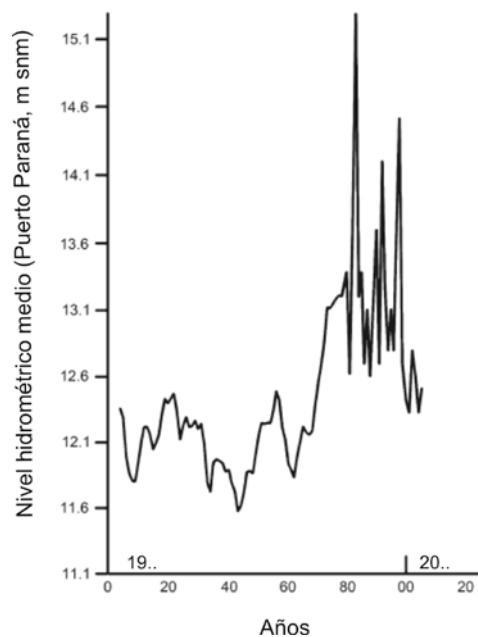
6.2.1. Factores externos o exógenos

6.2.1.1. Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes

El ingreso de agua a la llanura aluvial del Paraná Medio implica, al mismo tiempo, el acompañamiento de sedimentos y nutrientes. La llanura de inundación es inundada parcial o totalmente cada año por el cauce principal y por su intrincada red de drenaje. Como se ha detallado en el Capítulo 2, el comportamiento estacional del régimen hidrológico del Paraná ha cambiado en las últimas tres décadas del siglo

pasado, así como al principio del presente. El aumento del caudal desde aproximadamente 1970 ha sido muy notable con respecto a los caudales medios históricos y más evidentes aún con respecto al periodo 1944 a 1970, considerado el período “más seco” (García y Vargas, 1998). El que comenzó a partir de aproximadamente 1970 presentó características hiperhúmedas, resultando en una tendencia que no parece revertirse, con un incremento de los caudales medios del río Paraná y su principal afluente, el río Paraguay del 50 % en promedio (García y Vargas, 1998). Por otra parte, Paoli y Cacik (2000) citan que durante los últimos 25 años del siglo pasado los mayores caudales (según esos autores, superiores a $30.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ocurrieron no sólo en la fase de aguas altas (febrero a marzo), sino también durante algunos meses de la fase de aguas bajas (mayo, junio y julio). Estos cambios en los caudales, García y Vargas (1998) los atribuyen a un cambio climático a escala regional produciendo por ejemplo, un incremento promedio en las alturas hidrométricas en Santa Fe de 0,45 m. Los hechos mencionados derivaron en un aumento en magnitud y tiempo de la conectividad entre los ambientes lóticos y leníticos de la planicie de inundación del Paraná Medio. Sin embargo, desde 1999 hasta el 2005, los niveles hidrométricos en el Puerto de Paraná comenzaron a mostrar una tendencia decreciente (Cristina, 2006), mostrando un valor promedio para el periodo 1999-2005 de 13,4 m s.n.m., similar al presentado por el río en la década del 70 de 12,5 m s.n.m. (Figura 6.9).

Figura 6.9: Evolución histórica del nivel hidrométrico medio anual del Río Paraná en Puerto Paraná en metros sobre el nivel del mar. Fuente: Drago (2007).



Con relación a los sedimentos transportados, es bien conocido que constituyen la materia prima con que la corriente modela el paisaje fluvial, tan variado y dinámico, como es el caso del Río Paraná en sus tramos medio e inferior (Cooke y Doornkamp, 1978; Payne, 1986). Alarcón *et al.* (2003), determinaron los transportes anuales entre los años 1991 y 1998 y cuantificaron la importancia del Río Bermejo en la carga de lavado (limo + arcilla) que transporta el Río Paraná en su tramo medio y brindaron los primeros valores de los volúmenes retenidos en la llanura aluvial entre Confluencia y el Túnel Subfluvial de la ciudad de Paraná. Calcularon que ingresaron 120×10^6 ton/año de carga de lavado, de los cuales alrededor del 92 % fue aportado por el Río Bermejo. En la sección del Túnel Subfluvial, fueron medidos $94,6 \times 10^6$ ton/año, si se tiene en cuenta lo que se deriva por el Río Colastiné y el sistema Leyes-Setúbal (Figura 2.23 en Capítulo 2), sumaría $113,5 \times 10^6$ ton/año. Cuando se considera solo el período de máximos aportes de carga de lavado proveniente del Bermejo al sistema del Paraná Medio, normalmente entre diciembre y mayo de cada año, y exceptuando lo ocurrido en el año 1991, en la sección del Túnel se registraron en promedio 30×10^6 toneladas de carga de lavado menos que la que ingresó en Confluencia. En conclusión, los casi 640 km de llanura aluvial entre Confluencia y el Túnel (con un ancho promedio de alrededor de 28 km), actuarían como una gran cubeta de retención de una parte significativa de la carga de lavado mencionada.

Considerando un período mayor de tiempo, entre 1968 y 2004 y contemplando sólo el transporte de limo y arcilla (carga de lavado) transportadas en suspensión, Amsler (2006) calculó que los aportes de este tipo de material desde el Paraná Superior a Confluencia, se redujeron notoriamente durante los últimos 35 años, de aproximadamente 15×10^6 toneladas a menos de 3×10^6 toneladas de transporte medio anual. El origen de esa disminución sería el efecto de retención de los grandes embalses, entre ellos Itaipú y Yacyretá, construidos en la alta cuenca desde fines de la década del '60. Sobre este particular, se contabilizaron la ejecución de 27 embalses, con tiempos de residencia del agua superiores a los 10 días y que pueden llegar a los 500 días. Amsler (2006), concluye destacando dos aspectos centrales: 1°) En la cuenca del Río Paraná como en otros grandes sistemas fluviales del mundo, la construcción de numerosos embalses, varios de ellos de gran magnitud, han afectado marcadamente la transferencia de sedimentos (en este caso su carga de lavado) aguas abajo; esa modificación, no sólo se manifestó en los menores transportes que por el Paraná Superior arriban al comienzo del tramo medio, sino que también se detectaron síntomas de menor sedimentación (y en ocasiones degradación) en la planicie aluvial entre las ciudades de Corrientes y Paraná. 2°) Considerando la

importancia de la provisión de sedimentos finos (limos y arcillas), sustento del gigantesco humedal que implica la llanura de inundación del Paraná Medio, es imprescindible analizar cuidadosamente las consecuencias aguas abajo de toda medida tendiente a reducir el suministro de ese tipo de material desde la cuenca del río Bermejo, el gran proveedor de carga de lavado al citado sistema.

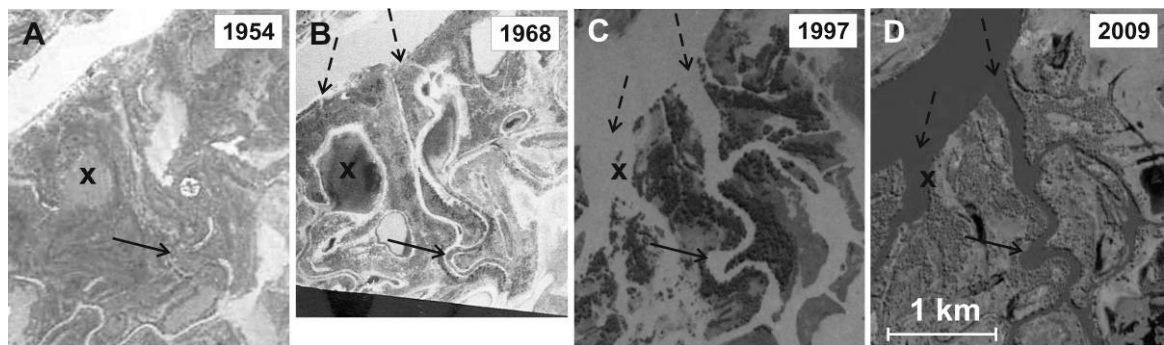
Los intercambios laterales entre el cauce principal y la llanura aluvial regulan la carga de nutrientes, sedimentos y materia orgánica disuelta que transporta el río aguas abajo (Maine *et al.*, 2004; Van der Lee *et al.*, 2004; Mladenov *et al.*, 2005). Esto se debe a que la llanura aluvial constituye una fuente de materia orgánica disuelta para el sistema y una trampa de nutrientes y material particulado aportados por el río (Tockner *et al.*, 1999). Los factores químicos mencionados y la turbidez causada por los sólidos en suspensión son capaces de afectar el desarrollo del fitoplancton y, por lo tanto, a los niveles tróficos superiores (Lewis *et al.*, 2000). Las diferencias espaciales en el grado de conectividad hidrológica conducen a una influencia desigual del río sobre diferentes cuerpos de agua de la llanura aluvial, afectando en un modo variable a las condiciones abióticas y a las comunidades de organismos (Unrein, 2002; Ward *et al.*, 2002). Con respecto a los nutrientes, los que más influyen en los cuerpos de agua son los fosfatos y nitratos, que permiten el crecimiento algal. Cuando éstas se desarrollan en forma abundante, el agua se enturbia y, a su vez, también mueren al igual que otros organismos y descomponiéndose por la actividad de las bacterias. Con ello se produce un consumo de oxígeno del agua, lo que disminuye las posibilidades de vida a otros seres vivos. De este modo, los ambientes acuáticos se van colmatando con material orgánico e inorgánico, que se va depositando en el fondo (Cole, 1988).

En el Paraná Medio, en las lagunas aisladas, la senescencia algal es mayor durante la fase de aguas bajas con respecto a la fase de inundación. Durante esta última, el efecto es rejuvenecedor sobre el fitoplancton (Mayora, 2015) y sobre las cubetas lagunares en general.

Un ejemplo de la asociación entre el ingreso de agua, sedimentos (y por ende nutrientes) con los procesos evolutivos de los ambientes acuáticos, se muestra en la Figura 6.10 (Paira *et al.*, 2010). En este caso, se trata de la pérdida de identidad que pueden sufrir algunas lagunas cuando parte de sus cubetas se convierten en cauces, es decir, la condición lenítica de un ambiente se transforma en lótica debido a fenómenos erosivos durante las fases de inundación.

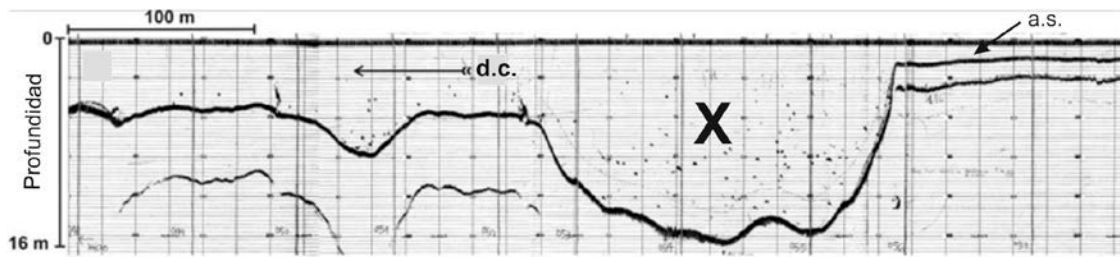
Figura 6.10: Evolución en el diseño de drenaje. La "X" en las fotografías **A** y **B** indica

una cubeta lagunar que por procesos erosivos se transformó en un cauce (**C** y **D**), es decir, de ambiente lenítico a lótico. Las flechas con línea de trazos indican la aparición de surcos de desborde en el albardón de un cauce secundario de jerarquía (Río Coronda) en la planicie aluvial del Paraná y su evolución como factor en el cambio de ambiente lenítico a lótico reactivando paleocauces. La flecha de trazo continuo indica la ubicación de un meandro con su evolución en un cauce reactivado. Nótese la escala temporal involucrada (alrededor de 50 años) en el desarrollo del proceso. Fuente: Paira *et al.*, 2010.



Durante el proceso de erosión de los albardones y formación o reactivación de los paleocauces, la elevada energía cinética y gran turbulencia de las aguas fluviales al ingresar en la llanura, inmediatamente aguas abajo del albardón, se disipa en parte, generando pozos de erosión de gran profundidad (mayores a 20 m), muchas veces superando la profundidad del cauce mayor que los alimenta. Estos pozos de erosión son los llamados “de pie de albardón” por Ramonell *et al.* (2006, 2007). Generalmente son los que presentan mayor superficie, profundidad máxima y longitud (aproximadamente 200 m, Figura 6.11). Este tipo de proceso ha sido observado también, a menor escala morfológica y espacial, en cauces de menor jerarquía de la llanura aluvial (caudales menores a $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; Drago *et al.* 2003; Espínola *et al.* 2014).

Figura 6.11: Perfil longitudinal realizado con sonda ecógrafa en un pozo de pie de albardón. El relevamiento se realizó desde el Río Coronda hasta 600 metros por el arroyo El Cordobés. El pozo de más de 15 m es el lugar donde se encontraba la laguna señalada con “X” en la Figura 6.10. d.c.: dirección de la corriente, a.s.: albardón sumergido. Fuente: Paira *et al.* (2010).



Queda demostrado con lo expresado y ejemplos presentados hasta aquí, la complejidad y variabilidad involucradas en los procesos evolutivos producidos por el ingreso de agua, sedimento y nutrientes a la planicie de inundación del Paraná Medio. Se advierte, además, que la dinámica geomorfológica no sólo se verifica durante aguas bajas y medias, sino también cuando se encuentra totalmente inundada (Junk *et al.*, 1989).

6.2.1.2. Neotectónica

Este factor evolutivo externo o exógeno debido a que la tectónica de placas, excede inclusive la cuenca de drenaje del Río Paraná. Como es sabido la Placa Sudamericana sigue desplazándose hacia el Oeste enfrentándose con la Placa del Pacífico Sur, provocando presiones que generan geofracturas con trazados cóncavos hacia el Este; ejemplos de ellas son las de Tostado-Selva en el Este y la de San Francisco del Chañar-Hernando al Oeste de la anterior. Desde el punto de vista geológico, esta dinámica tectónica ha generado también una ondulación de gran radio de curvatura que define las “Pampa Elevada”, “Pampa Hundida” y “Pampa Levantada”, respectivamente. Desde una perspectiva geomorfológica, se distinguen las pampas “pedemontanas”, de las “lagunas” y “ondulada” (Pasotti y Castellanos, 1966; Pasotti, 2000).

La Neotectónica se mantiene actualmente activa y las llanuras aluviales no son la excepción. Trabajos realizados en la Llanura Pampeana desde la década del 60 plasmados en Pasotti (1974, 2000) dan cuenta de ello, además de los específicos para el Río Paraná (Iriondo, 1988, 2007; Ramonell *et al.*, 2000; Orfeo y Stevaux, 2002).

La componente vertical de los movimientos tectónicos es muy pequeña. En la llanura inundable del Río Paraná es de pocos metros en la escala de tiempo larga ($>10^5$ años; Knighton, 1998; Iriondo, 2007). Este valor, sin embargo, resulta significativo si se considera la casi horizontalidad de las llanuras de América del Sur. Los grandes ríos con alta energía morfogenética, tienden a uniformizar las

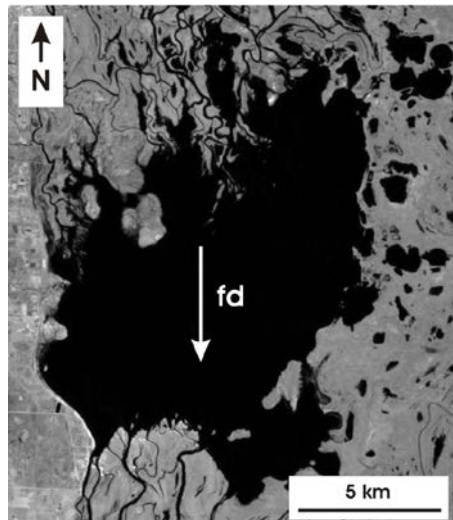
características geológicas heredadas, por lo tanto, la mayoría de los elementos estructurales visibles en las grandes planicies de inundación, son la consecuencia de los procesos neotectónicos actuales o recientes. En los bloques levantados, la llanura de inundación es relativamente estrecha, el cauce tiende a ser recto y los depósitos sedimentarios más antiguos aparecen como terrazas. En cambio, en los bloques hundidos, la pendiente longitudinal es muy baja con una llanura de inundación ancha, un cauce con desplazamientos laterales importantes y con los sedimentos más antiguos permanentemente sumergidos (Iriondo, 2007).

Como se explicara en el Capítulo 2 en la descripción del área de estudio y en la selección de los tres tramos de planicie estudiados, el Paraná escurre sobre bloques estructurales alargados con dirección Norte-Sur inclinados hacia el Este, la mayoría de ellos. La actividad del cauce principal erosionando solo una de las márgenes del valle (la oriental), con las terrazas en la margen opuesta, constituye una evidencia de esta inclinación (Iriondo y Suguio, 1981). A su vez, estos bloques se superponen a un antiguo sistema estructural con dirección Noroeste-Sureste y Noreste-Suroeste (Pasotti y Cánoba, 1979; Iriondo, 2007). En general, la sección Norte de la llanura de inundación, desde Corrientes hasta Bella Vista, está en proceso de hundimiento; el tramo de planicie entre Santa Fe y Rosario, tiende a elevarse y el intermedio entre estos dos, está compuesto por varios bloques menores con un comportamiento no uniforme (Iriondo, 2007).

Un ejemplo llamativo de una laguna tectónica-fluvial es la Laguna Coronda, ubicada a unos 50 km al Sur de la ciudad de Santa Fe ($32^{\circ}05' S$ y $60^{\circ}55' O$, Figura 6.12). Esta laguna tiene una superficie de 128 km^2 , su desarrollo de la línea de costa (D_L) es de 4,5, posee numerosos tributarios y emisarios, posee varios deltas pequeños internos tipo “pata de gallo”, amplias bahías y también lagunas menores anexas. En esta unidad geomorfológica (denominada “Deltas de Tributarios” por Iriondo, 2007), existen cauces sumergidos, albardones discontinuos que se van elevando (discontinuous or flying levees, en inglés) y cauces con curvas anómalas, también indicadores de hundimiento tectónico (Schumm *et al.*, 2002).

Todas estas evidencias dan cuenta que la Neotectónica estaría actuando lentamente, al igual que en épocas anteriores, introduciendo modificaciones en la morfología y en las formas fluviales, pero se estaría necesitando mayor información geodésica para poder cuantificar sus efectos (Popolizio, 2003).

Figura 6.12: Laguna Coronda (laguna tectónica-fluvial); fd: dirección de la corriente. Fuente: Paira y Drago (2006).



6.2.1.3. Nivel freático

Marchetti y Carrillo-Rivera (2014) presentan resultados de un estudio cuyo objetivo fue identificar las condiciones de descarga de aguas subterráneas en una unidad geomorfológica de la llanura aluvial del Paraná Medio. Esa unidad, la Llanura de Meandros (Figura 5.3, Capítulo 5; Iriondo, 2007), está ubicada inmediatamente aguas abajo de la Isla Chapetón. Estos autores consideraron, entre otros lugares de interés, una laguna permanente y aislada ubicada a 2 km de los ríos Paraná y Colastiné, con una cota igual al nivel hidrométrico medio del río Paraná durante el periodo de estudio (13,89 m s.n.m.), en donde instalaron dos piezómetros de los ocho utilizados. Las conclusiones para los años del trabajo (2007 a 2009), revelaron, que el nivel freático superficial está asociado a la variación hidrométrica del Río Paraná y no tendría ninguna relación con la precipitación (también en la mayoría de los piezómetros). Las variaciones del nivel freático tuvieron una media de -0,31 m a -0,36 m de profundidad con respecto a la cota de la superficie del agua lagunar. Los autores demostraron en sus conclusiones, la relación directa del agua superficial de los ambientes leníticos con el agua subterránea, lo cual resulta esencial para la interpretación de la dinámica de los sistemas fluviales y de las comunidades biológicas asociadas.

6.2.2. Factores internos o endógenos

6.2.2.1. Ubicación de la laguna en la unidad geomorfológica

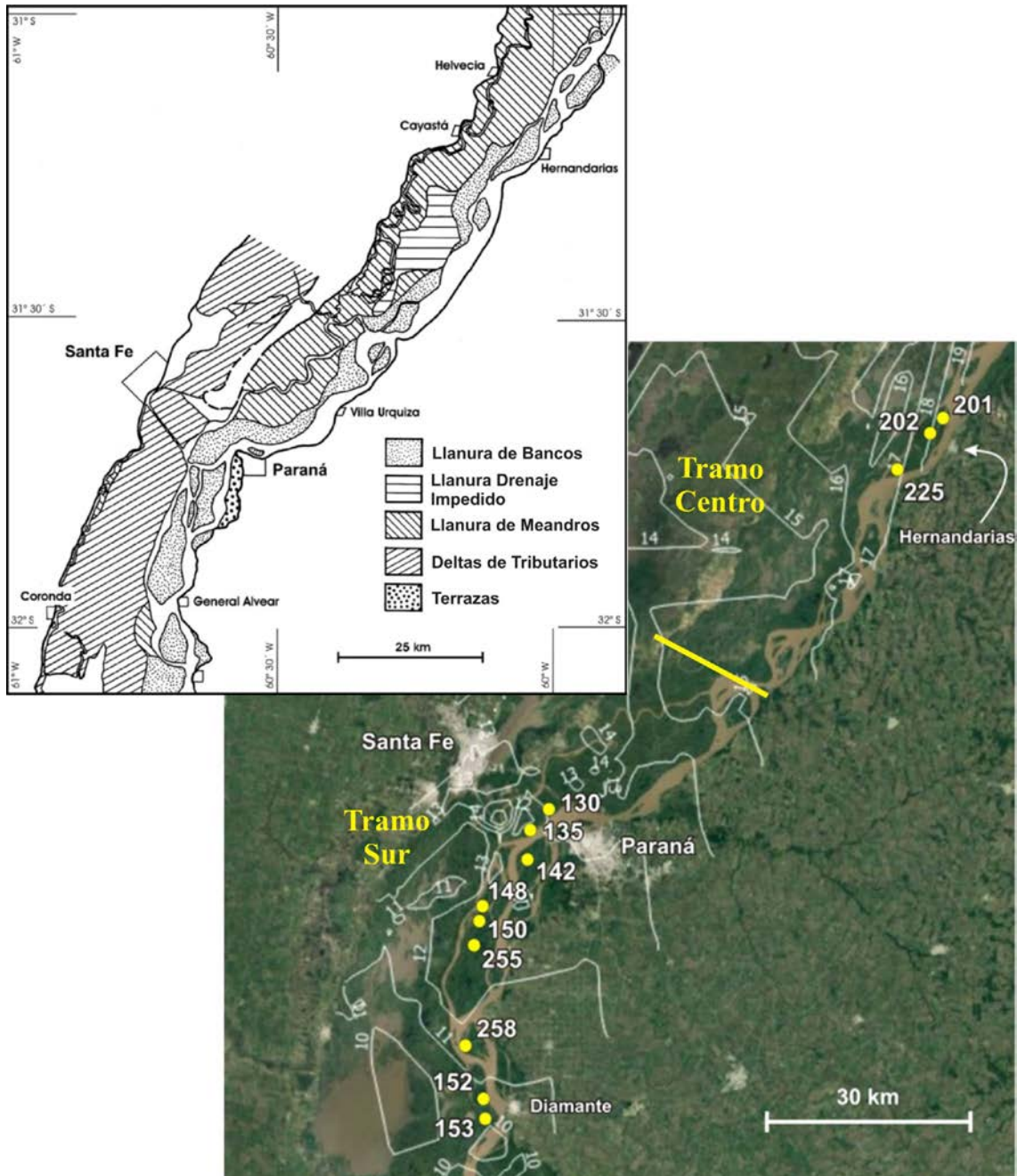
Es esperable que la evolución de una laguna sea afectada de diferente modo según la unidad geomorfológica de la planicie en la que se encuentre. Como se ha explicado en el Capítulo 5, en el complejo paisaje fluvial del Paraná medio, las distintas unidades geomorfológicas con diversos tipos de sedimentos, cotas o elevaciones del relieve topográfico y pendientes longitudinales y transversales. Todas estas características condicionarán el ingreso de agua, sedimento y nutrientes a las distintas unidades geomorfológicas para cada nivel hidrométrico y, por lo tanto, su llegada a las lagunas ubicadas en ellas afectando su evolución.

Siguiendo a Iriondo (2007, 2012), la Llanura de Bancos posee cotas IGN superiores a los niveles medios y algunas crecidas ordinarias del río que pueden sobrepasar más de un par de metros la altura del pelo de agua. En la Tabla 6.2 se puede apreciar las diferencias de alturas entre los puntos acotados y el cero de las escalas más cercanas y en la Figura 6.13, se ubicaron los puntos acotados IGN y en función de ellos se generaron las curvas de nivel.

Tabla 6.2: Puntos acotados IGN en la unidad geomorfológica de Llanura de Bancos en los Tramos Centro y Sur, con coordenadas y cotas IGN de los Ceros de las escalas hidrométricas de Hernandarias, Paraná y Diamante (SSPyVN). Las coordenadas X e Y están en Gauss-Krüger, Faja 5.

Punto	Coordenada		Cota IGN (m)	Lugar	Hidrómetro más cercano	Cota "0" hidrómetro IGN (m)	Diferencia al "0" (m)
	X	Y					
201	65500	55000	17,8	Isla Hernandarias	Hernandarias	12,90	4,90
202	65490	54990	16,3	Isla Hernandarias	Hernandarias	12,90	3,40
225	65415	54930	16,5	Isla Hernandarias	Hernandarias	12,90	3,60
130	64935	54400	13,0	Isla Carabajal	Paraná	9,57	3,43
135	64910	54420	12,9	Isla Carabajal	Paraná	9,57	3,33
142	64870	54410	12,7	Islas Lynch	Paraná	9,57	3,13
148	64810	54350	12,9	Isla del Tragadero	Paraná	9,57	3,33
150	64790	54340	12,1	Isla El Grillo	Paraná	9,57	2,53
255	64760	54335	11,2	Isla del Tragadero	Paraná	9,57	1,63
152	64530	54350	10,7	Isla Gaviglia	Diamante	6,76	3,94
153	64510	54350	10,4	Isla Gaviglia	Diamante	6,76	3,64
258	64610	54320	11,9	Islas Largas	Diamante	6,76	5,14

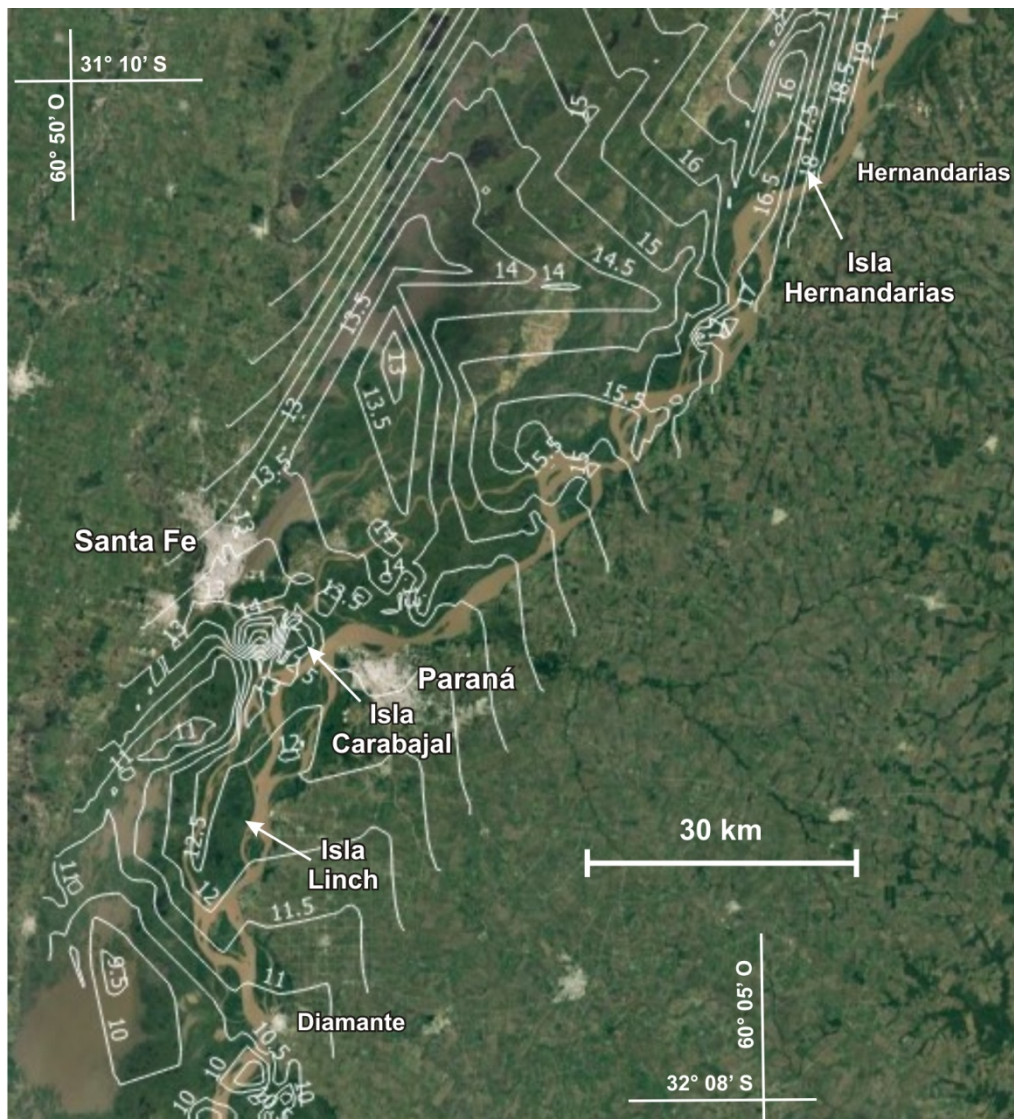
Figura 6.13: Ubicación de los puntos acotados de la Tabla 6.2 en la unidad geomorfológica de Llanura de Bancos (Iriondo, 2007) en los Tramos Centro y Sur de la llanura aluvial del Río Paraná Medio. Cotas IGN y curvas de nivel con una equidistancia de 1 m. Cotas referidas al nivel medio del mar (mareógrafo de Mar del Plata).



En la unidad de Llanura de Bancos, considerando los puntos acotados de la Tabla 6.2, las pendientes longitudinales calculadas para la Isla Hernandarias (correspondiente al Tramo Centro) es de $1,2 \times 10^{-4}$, en la Isla Carabajal $3,1 \times 10^{-5}$ y en

la Isla Linch $3,3 \times 10^{-4}$ (éstas dos últimas ubicadas en el Tramo Sur). Estas pendientes demuestran la inclinación longitudinal de cada una de estas islas, con diferencias de hasta un orden de magnitud. Una visión más general de la pendiente de la llanura aluvial, además de las calculadas en el Capítulo 2, está dada por las curvas de nivel de las Figuras 6.13 y 6.14.

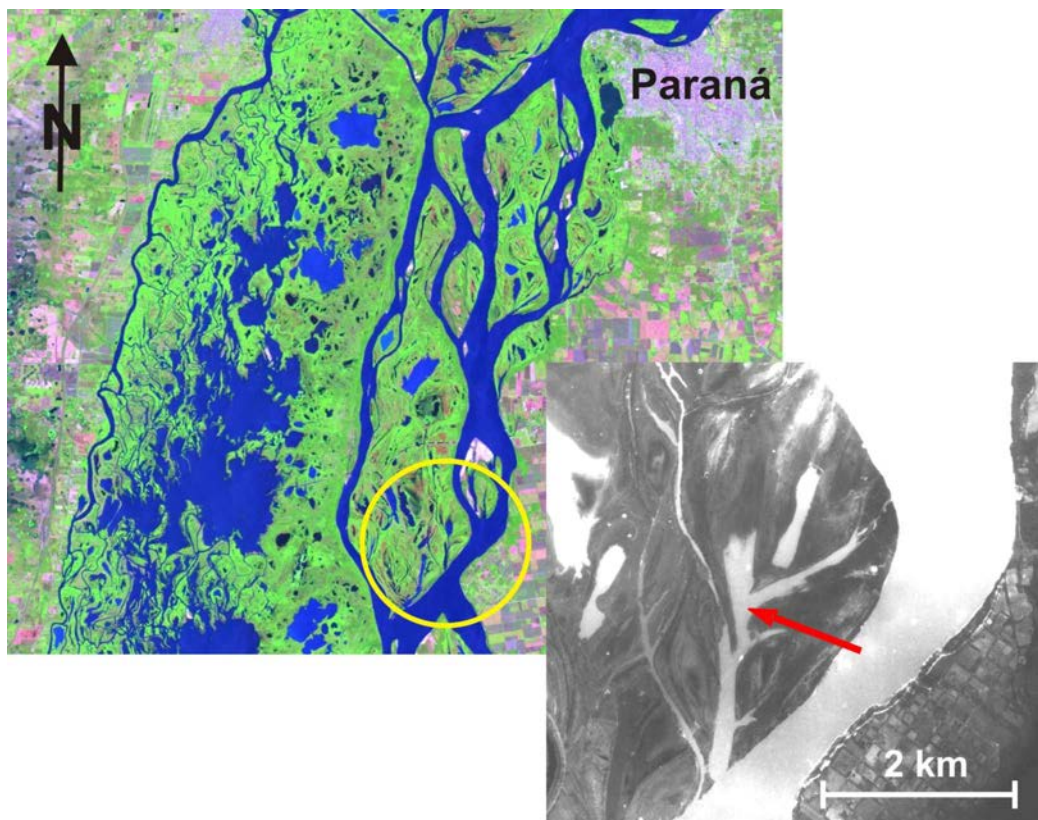
Figura 6.14: Curvas de nivel desde Hernandarias hasta Diamante en la llanura aluvial del Río Paraná Medio con una equidistancia de 0,50 m. Cotas referidas al nivel medio del mar (mareógrafo de Mar del Plata).



En la unidad Llanura de Bancos (ya explicado en el Capítulo 5), es común el adosamiento de bancos e islas de cauce, que genera grandes lagunas de adosamiento, de forma irregular, donde es posible detectar las mayores profundidades

a lo largo de los thalwegs correspondientes a los cauces que quedaron cegados por este proceso. Dentro de estas grandes lagunas de adosamiento, las áreas de cauce estrecho evolucionan más rápidamente hacia tierra firme, debido al intenso desarrollo de la vegetación acuática y posterior invasión de la vegetación palustre (Figura 6.15). En estas grandes lagunas, no se observan en su superficie los restos de albardones o "islotos" propios de las lagunas formadas por la anexión de espiras asociadas a la Llanura de meandros, que se describen en lo que sigue.

Figura 6.15: Laguna de adosamiento de forma irregular indicada con la flecha roja (Km 560 del Río Paraná, Isla Sirgadero, Provincia de Santa Fe, 31°55' S y 60°42' O).



En la Llanura de Meandros (también explicada en el Capítulo 5), el paisaje fluvial presenta una topografía compuesta por una sucesión de zonas bajas y altas denominada de “bajos y lomadas” o “pantanos y lomadas” (“ridges and swales topography”, en la terminología inglesa; Fairbridge, 1968; Figura 6.16).

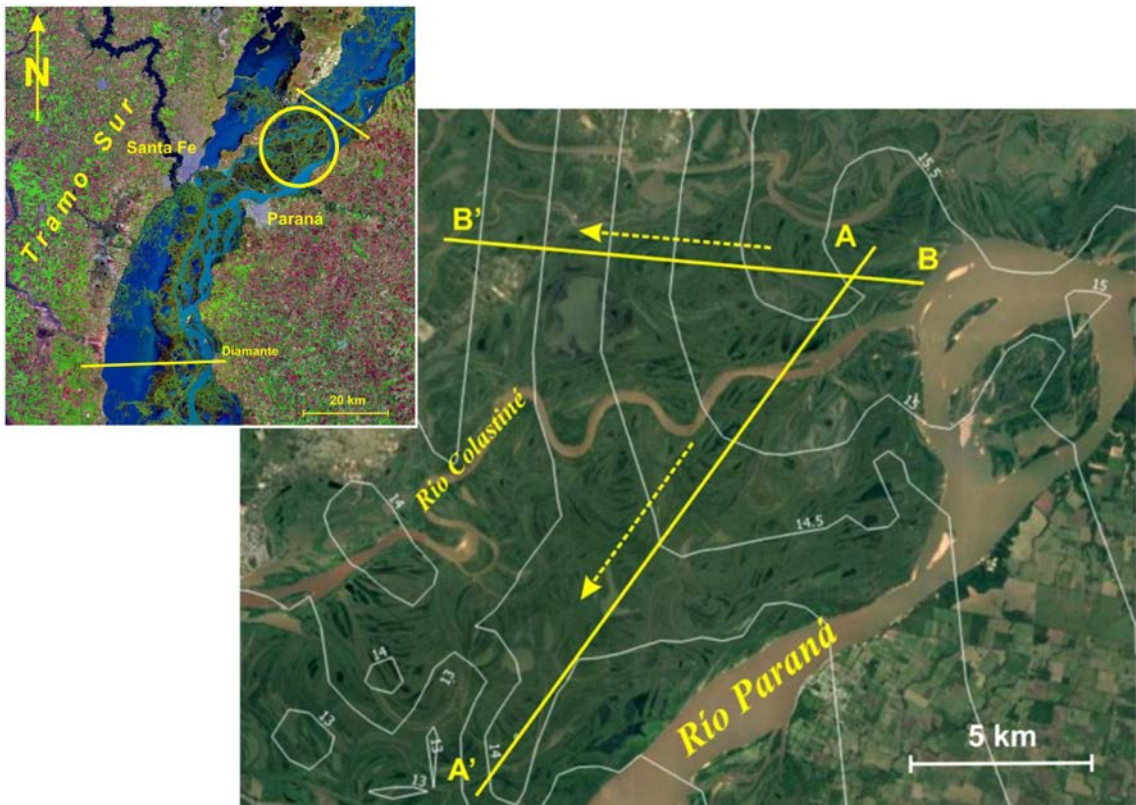
Figura 6.16: Desarrollo de meandros en la topografía de “bajos y lomadas” en la

unidad Llanura de Meandros de la llanura aluvial del Río Paraná Medio (31°36' S y 60°25' O).



En esta unidad geomorfológica se calcularon pendientes medias en sentido longitudinal del orden de 8×10^{-5} (sentido A-A') y pendientes transversales al escurrimiento más pronunciadas del orden de $1,7 \times 10^{-4}$, con la característica que en algunos tramos esta última pendiente tiene sentido Este-Oeste (sentido B-B') de la llanura aluvial (Figura 6.17). Cálculos similares realizaron Ramonell *et al.* (2000), donde mencionan por primera vez el orden 10^{-4} las pendientes transversales de la planicie.

Figura 6.17: Perfiles longitudinal (A-A') y transversal (B-B') en la Unidad Llanura de Meandros, en el Tramo Sur de la llanura aluvial del Río Paraná Medio. La circunferencia de color amarillo indica la zona de estudio. Las flechas con trazos indican el sentido del escurrimiento superficial del agua. Equidistancia 0,5 m. Cotas referidas al nivel medio del mar (mareógrafo de Mar del Plata).



En la Llanura de Meandros se han observado dos líneas evolutivas de los cuerpos de agua. En una de ellas adquieren formas finas y alargadas (o Alargadas Finas, según Paira y Drago, 2007). Genéticamente se originan por el desarrollo de meandros (que dan lugar a las lagunas de espira según Drago, 1976; Figura 6.18). Rápidamente estas lagunas de Espiras (Drago, 1976) o Alargadas Finas (Paira y Drago, 2007) con cuerpos muy estrechos y poco profundos, evolucionan rápidamente hacia los estados terminales de ambientes de pantanos. La mayoría se encuentran completamente invadidas o cubiertas por la vegetación acuática y posteriormente dan lugar a las comunidades palustres en su evolución hacia tierras más altas (Figura 6.19).

Figura 6.18: Perfil transversal tipo de un desarrollo de meandro en el valle del Río Paraná Medio frente a Empedrado (Corrientes). Fuente: Paira, 2003.

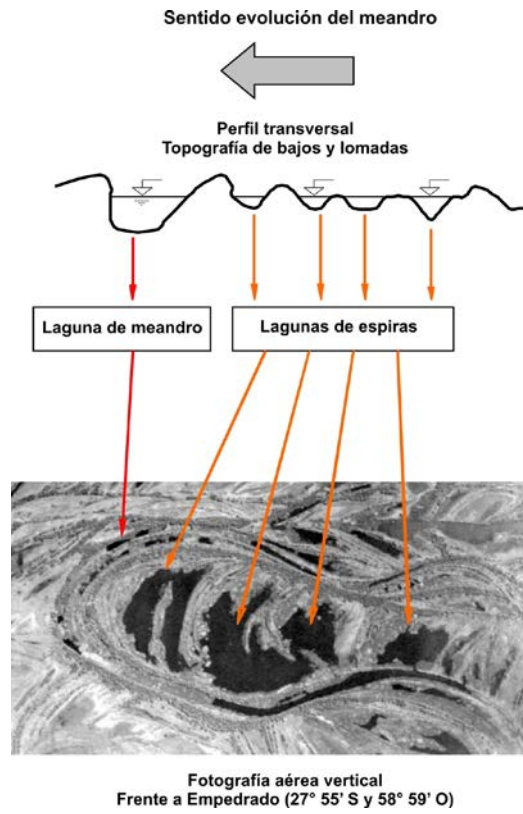
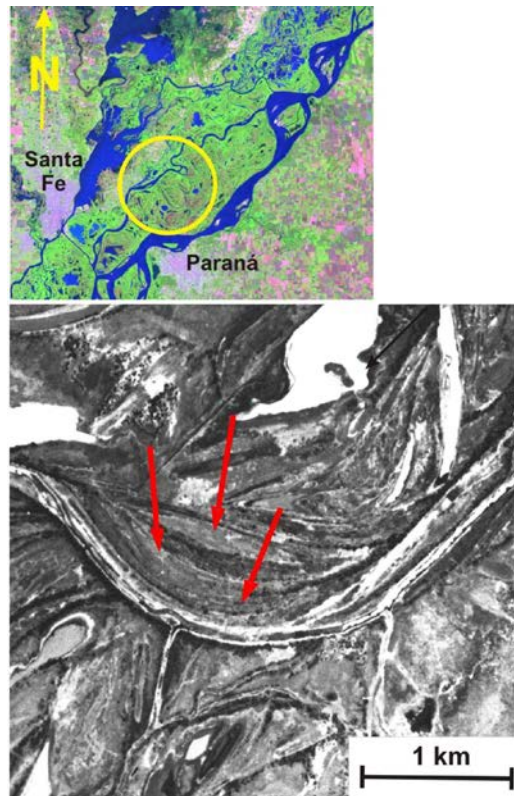


Figura 6.19: Lagunas de Espiras o Alargadas Finas convertidas en Pantanos (indicadas con flechas rojas), Isla Santa Cándida, 31°40' S y 60°29' O. Fuente: Paira, 2003.



Otra línea evolutiva se observa cuando las lagunas de Espiras (o Alargadas Finas) pueden, por erosión de las lomadas (bancos de espiras), unirse unas con otras formando un tipo de laguna Irregular. Un elemento importante para distinguir este tipo de laguna es la presencia de islotes dentro de su espejo de agua, como se mencionara más arriba, que dan cuenta de los restos de las lomadas (Figuras 6.20, 6.21 y 6.22).

Figura 6.20: Laguna Irregular formada por anexión de varias lagunas de Espiras o Alargadas Finas con el resto de lomadas en el espejo de agua (formando "islas") que anteriormente eran los albardones de cada laguna de Espira (Río Coronda, Provincia de Santa Fe, 31°50' S y 60°47' O). Fuente: Paira, 2003.



Figura 6.21: Laguna Irregular formada por la anexión de lagunas de Espiras o Alargadas Finas con el resto de los albardones en su espejo de agua (Km 1147 del Río Paraná Medio, Provincia del Chaco, 27°54' S y 58°54' O). Fuente: Paira, 2003.

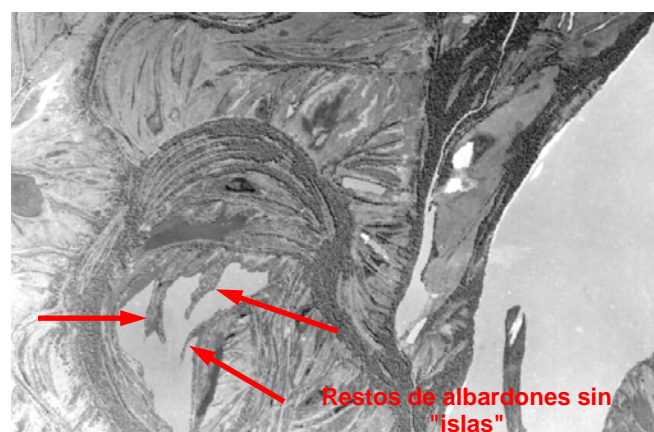
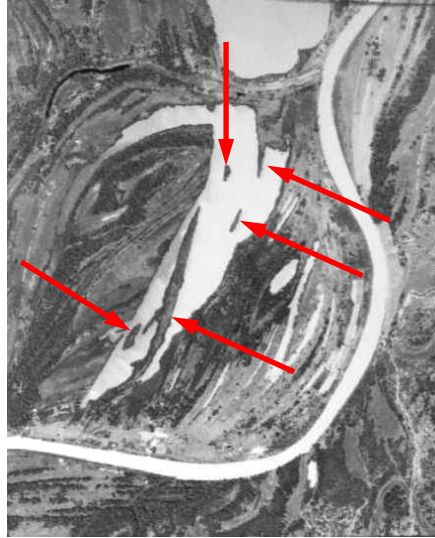


Figura 6.22: Laguna Irregular por anexión de Espiras con el resto de sus anteriores albardones en su espejo de agua y con "islotos" en su interior indicados con flechas rojas (Río Paraná Medio, Provincia del Chaco, 27°23' S y 58°48' O). Fuente: Paira, 2003.



Muchas veces, estas islas se presentan alineadas en el sentido de estas antiguas lomadas, debido que las mismas son el resultado de la erosión de estas lomadas. En cambio, las lagunas de Meandros (o Alargadas Anchas; Paira y Drago, 2007), corresponden a los cauces abandonados que en su desplazamiento, generaron esas lagunas de Espiras. Estas lagunas de Meandros mantienen durante mucho tiempo la profundidad y el ancho del antiguo cauce activo (Figura 6.23). En síntesis, cuando el cauce es abandonado por este proceso evolutivo, un mismo meandro origina varias lagunas de Espiras, evolucionando a su vez, hacia una laguna de tipo meandriforme o de forma Alargada Ancha (Paira y Drago, 2007).

Figura 6.23: Lagunas de Meandro o Alargadas Anchas indicadas con flechas rojas (Isla Cañas, Provincia de Santa Fe, 31°40' S y 60°37' O).



La unidad geomorfológica Deltas de Tributarios (también explicada en el Capítulo 5), son áreas de sedimentación formadas dentro de la llanura aluvial durante un clima seco (Iriondo 2007, 2012). Si bien actualmente son áreas inactivas como sistemas sedimentarios, están sometidas a procesos fluviales recientes y, según el curso afluente, el tipo de sedimento, puede resultar desde arenoso (e.g., arena cuarzosa fina bien seleccionada), hasta sedimentos finos y restos orgánicos. Dentro de los procesos con rasgos conspicuos en esta unidad, figuran los relacionados a una densa red de cauces menores, sinuosos y angostos, con albardones que inclusive se proyectan en el interior de las lagunas. Éstas poseen formas muy variadas si bien predominan las irregulares y someras, con un rango de profundidades máximas que oscila entre 0,30 m a 3,10 m. En síntesis, la unidad presenta un diseño anastomosado, con un drenaje tortuoso que impide una libre circulación o escurrimiento del agua, lagunas irregulares tanto de meandros como de adosamiento; es decir, se detecta una mayor heterogeneidad de cuerpos de agua lagunares asociados a ambientes lóticos de la intrincada red de drenaje de la llanura (Figuras 6.24 y 6.25).

Figura 6.24: Lagunas Irregulares de meandros y de adosamientos (flechas rojas) en áreas de diseño anastomosado en la unidad Deltas de Tributarios del Río Paraná Medio (Sauce Viejo, Provincia de Santa Fe, 31°50' S y 60°47' O). Fuente: Paira, 2003.

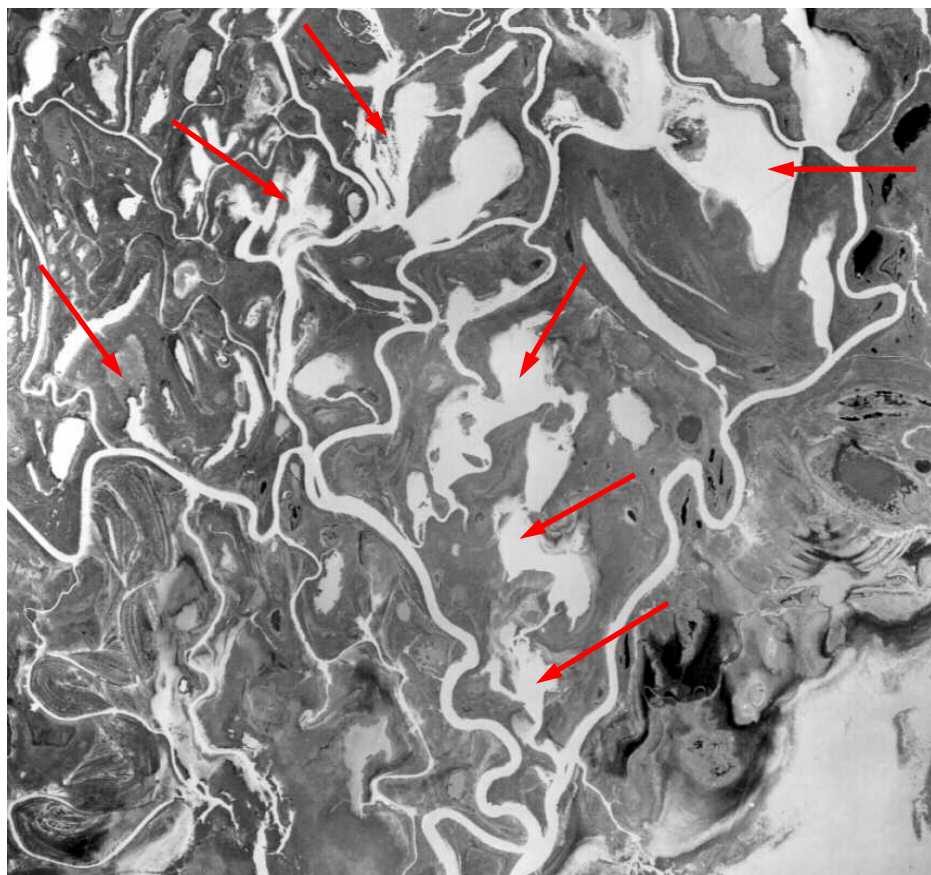
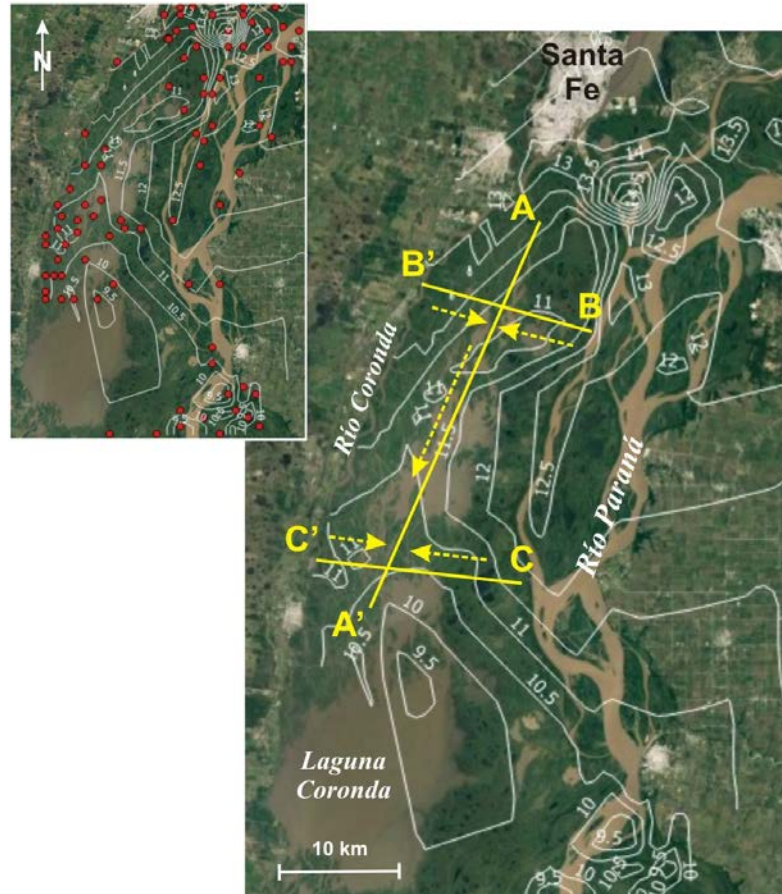


Figura 6.25: Lagunas Irregulares de meandros y de adosamientos (flechas rojas) en áreas de diseño anastomosado (fotografía aérea oblicua de la misma zona de la Figura 6.24). Foto: Aldo Paira.



En esta unidad geomorfológica se calcularon pendientes longitudinales (sentido A-A' en Figura 6.26) de $5,0 \times 10^{-5}$ y transversales al escurrimiento general en el orden de $2,0 \times 10^{-4}$ (sentido B intersección eje A-A') y $1,4 \times 10^{-4}$ (sentido B' intersección eje A-A'). En el perfil transversal C-C', las pendientes resultaron $9,5 \times 10^{-5}$ (sentido C intersección eje A-A') y $6,1 \times 10^{-5}$ (sentido C' intersección eje A-A'). Como se ha detallado en el Capítulo 2 (Figura 2.27), la característica general de la unidad son las pendientes transversales orientadas hacia un eje central o "eje de cotas mínimas" y con valores desde el "Paraná Viejo" y el Río Coronda hacia la faja central en el orden de las presentadas aquí. En general esas pendientes transversales tienden a disminuir hacia el Sur debido al ensanchamiento de la unidad en esa dirección (Figura 6.26).

Figura 6.26: Perfiles longitudinal (A-A') y transversales (B-B' y C-C') y curvas de nivel con equidistancia de 0,50 m en la unidad Deltas de Tributarios de la llanura aluvial del Río Paraná Medio ($31^{\circ}50' S$ y $60^{\circ}46' O$). Las flechas con trazos indican el sentido del escurrimiento superficial del agua. Los círculos rojos corresponden a los puntos con cota IGN. Cotas referidas al nivel medio del mar (mareógrafo de Mar del Plata).



6.2.2.2. Distancia al cauce principal del Río Paraná y/o a los cauces secundarios

Como se ha visto en el Capítulo 4, las distancias de las lagunas al cauce principal y a los secundarios son distintas y decrecientes en los tres tramos de estudio (Norte, Centro y Sur). El Paraná es el “motor” o agente modelador de su propia llanura aluvial y distribuye su trabajo a través de los cauces secundarios. Los ambientes leníticos están posicionados a distintas distancias, tanto del cauce principal como de los secundarios de distinta jerarquía, en donde existen lagunas conectadas a ellos y entre sí y/o aisladas. Estas distancias inciden en la evolución de las lagunas, en ambos casos ya que cuanto menor es la distancia, mayor es la posibilidad de conexión entre el ambiente lótico con el lenítico y viceversa con toda la transferencia de agua, sedimentos y nutrientes que ello implica, en especial cuando ocurren las crecientes.

En trabajos pioneros realizados por Drago (1989, 1990b), se efectuó un seguimiento de la transparencia del agua, la velocidad de la corriente y la concentración de sedimentos suspendidos que van ingresando a una laguna con conexión directa al Río Paraná. En este estudio, se puede apreciar el aumento de la transparencia, la disminución de la velocidad del agua y de los sedimentos en

suspensión a medida que se ingresa en la laguna en situaciones de río encauzado y durante una gran creciente (Figuras 6.27 y 6.28).

Figura 6.27: Cambios en la transparencia del agua, concentración de sedimentos suspendidos y velocidad de la corriente, durante el comienzo de la fase de desborde (24/03/1977) en el Río Paraná y en la Laguna La Cuarentena. Fuente: Drago (1989).

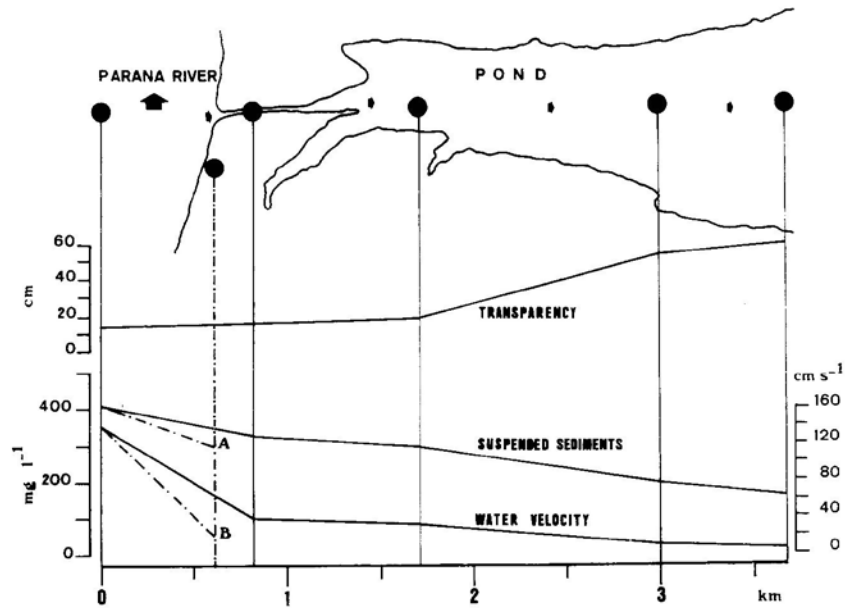
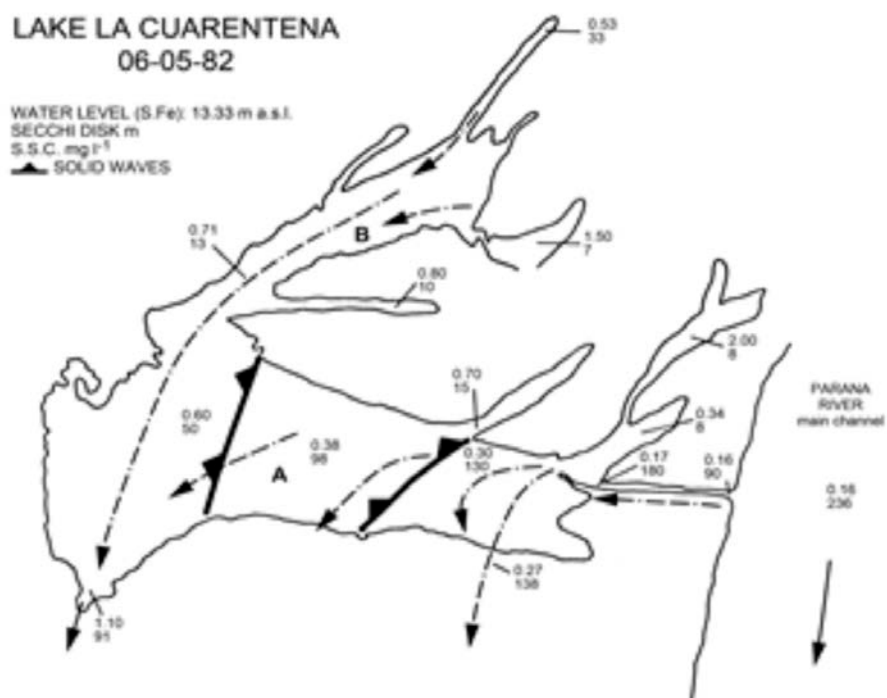


Figura 6.28: Cambios en la transparencia del agua y concentración de sedimentos suspendidos y velocidad de la corriente, durante el comienzo de El Niño (ENSO, 06/05/1982) en el Río Paraná y en la laguna La Cuarentena. Fuente: Drago (1990b).



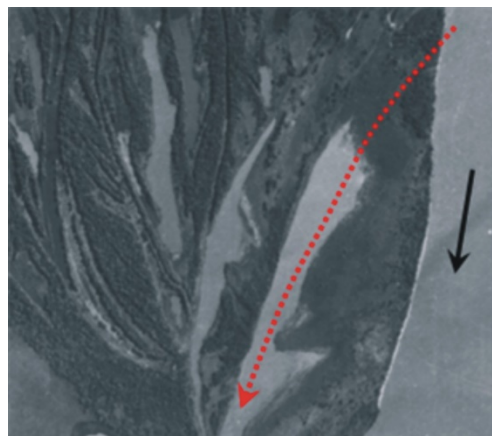
En ambos casos la disminución de las concentraciones de sedimentos en suspensión desde el ingreso a la laguna da cuenta de la deposición que progresivamente va colmatando su cubeta y gobernando su evolución. Esta evolución de las lagunas aluviales pueden ser más o menos rápida, hacia los pantanos y tierra firme en su fase final, o a un rejuvenecimiento o "reseteo" ("reseting", en inglés; Sparks *et al.*, 1990) de acuerdo a sus distancias al cauce principal y/o cauces secundarios. De ahí la importancia de conocer este factor. Cabe agregar que la incidencia de las crecientes en el proceso de rejuvenecimiento, o retorno a un estado anterior de estos cuerpos de agua, puede ser muy profunda.

6.2.2.3. Orientación

La orientación o la posición transversal/paralela de la cubeta de la laguna en relación con la dirección de los principales flujos de la corriente de agua de los cursos más cercanos, es otro atributo que también incide en la evolución, además de los mencionados hasta aquí. Cabe aclarar, que la orientación se refiere a la posición del eje mayor o de la longitud máxima de la laguna.

Las cubetas lagunares alargadas paralelas a los principales cauces activos (e.g. Figura 6.29), pueden sufrir procesos evolutivos de rejuvenecimiento o reseteo, ya mencionado en el punto anterior. El estado previo, puede ser el inmediato anterior o uno más alejado en el tiempo. Por el contrario, lagunas alargadas orientadas transversales al escurrimiento pueden sortear el efecto de las inundaciones y mantener sus condiciones leníticas sin grandes modificaciones (Paira y Drago, 2007).

Figura 6.29: Laguna alargada orientada paralela a la dirección de la corriente del agua (flecha negra) del Río Paraná (Km 560 del Río Paraná, Isla del Tragadero, Provincia de Santa Fe, 31°55' S y 60°42' O).



6.2.2.4. Conectividad

Cantidad de tributarios y/o emisarios de la laguna

En el tramo medio del Río Paraná, casi la mitad de las lagunas no tienen cauces tributarios y/o emisarios y la cuarta parte de ellas solo uno (Paira, 2003). En el Capítulo 4 se midieron para cada tramo la cantidad de ellos. En el tramo Norte, la cantidad de tributarios/emisarios es 362 para las 505 lagunas medidas, o sea menos de uno por laguna. En el tramo Centro, la cantidad es de 1.188 tributarios/emisarios para las 917 lagunas, lo que arroja una media de 1,3 tributarios/emisarios por laguna. En el tramo Sur, la media es de 1,8 tributarios/emisarios (139 para las 78 lagunas). Si bien la cantidad de lagunas medidas por tramos es muy diferente, al igual que las áreas trabajadas (Capítulo 2) y las unidades geomorfológicas presentes en cada tramo (Capítulo 5), este simple cálculo lleva a observar la disparidad de tributarios/emisarios por laguna incidiendo en la evolución.

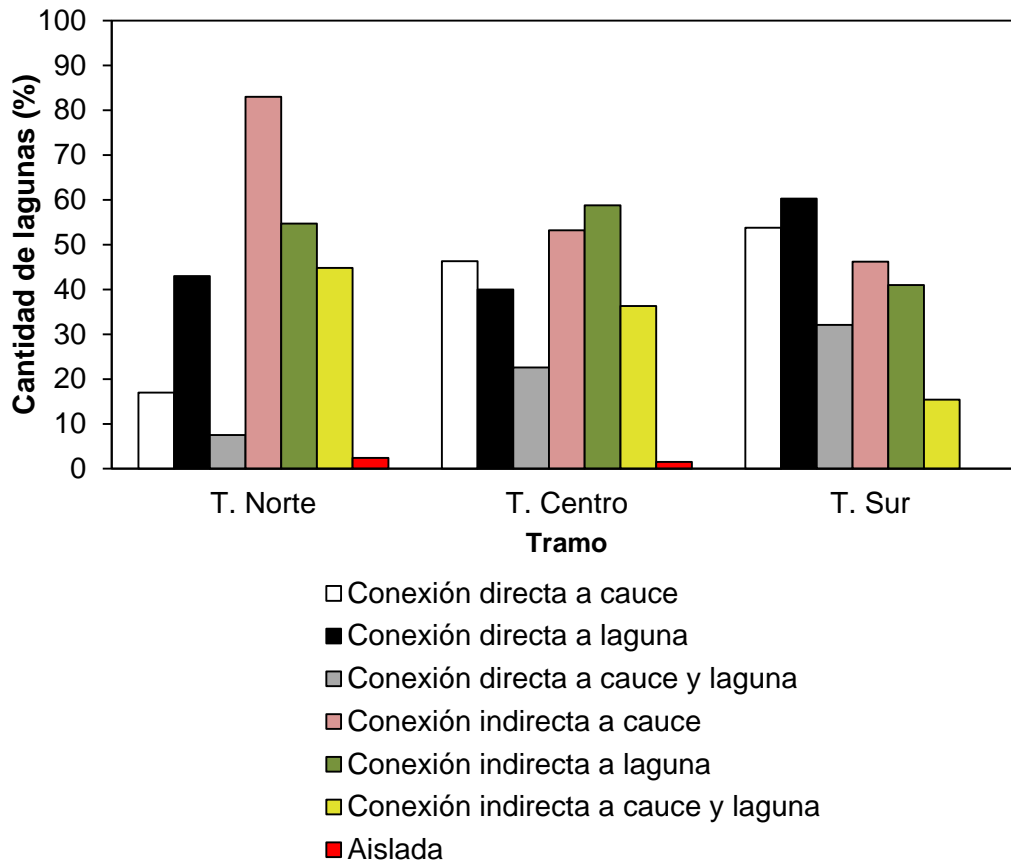
Grado y tipo de conexión

El grado y tipo de conexiones indicará el ritmo de evolución de los distintos sectores de planicie, inundados estacionalmente o aislados del aporte de agua y sedimentos, así como de los eventuales depósitos entre o dentro de lagunas. Como se mencionara en el Capítulo 3, Drago *et al.* (2003) y Drago (2007) investigaron el tipo de conexión que presenta cada laguna con un cauce y/o otra laguna. Este factor resulta clave en la evolución de los ambientes leníticos debido a que el fin de la existencia de las conexiones directas o la transición hacia un aislamiento, indicaría la presencia de lagunas más evolucionadas o en camino a la senescencia. En estas situaciones sus cubetas solo reciben aportes cuando los niveles hidrométricos son altos y como agua de desborde no encauzada y con la vegetación actuando como filtro sedimentológico.

Como resultado de los cálculos realizados en el Capítulo 4, se observa un incremento hacia aguas abajo de las conexiones directas de las lagunas con un cauce y con otra laguna o ambas a la vez, como también la disminución de las conexiones indirectas y aisladas. En el tramo Norte, la conectividad de los ambientes leníticos con conexión directa permanente a un cauce es baja (17,0%) y también con cauce y laguna (7,5%). Además, un elevado porcentaje (83,0%) de lagunas se empiezan a conectar solo cuando el río entra en la fase de creciente. Es muy bajo el porcentaje de lagunas aisladas y va decreciendo de Norte a Sur (2,4%, 1,5% y 0%). Estos cuerpos de agua se conectan al sistema sólo durante los picos de las fases de desborde del

río, a través del agua que escurre por inundación de la llanura (Figura 6.30).

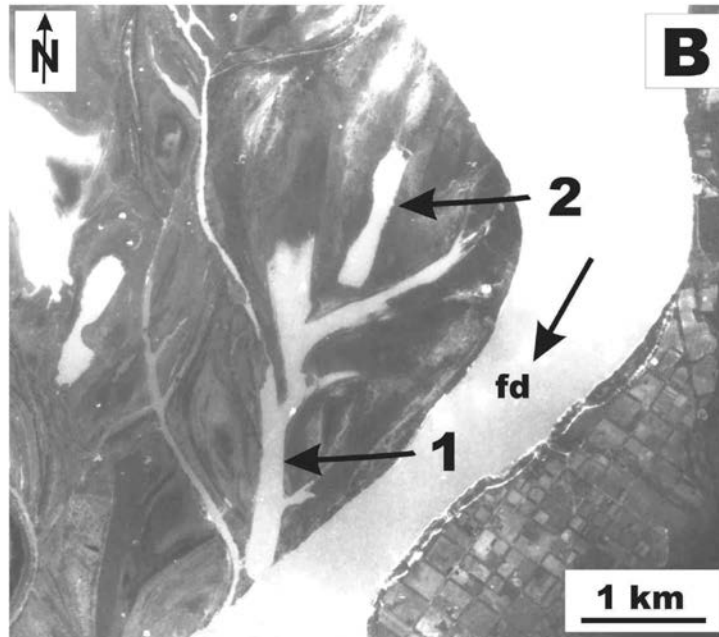
Figura 6.30: Tipos de conexiones de las lagunas aluviales en cada tramo (Norte, Centro y Sur) en la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



Comparando la conectividad morfológica de las lagunas en cada tramo (Norte, Centro y Sur), se advierte que las del tramo Sur serían las más conectadas, ya sea con un cauce o con una laguna y con ambos a la vez.

Un ejemplo del grado y tipo de conexión es el de la Figura 6.31. Allí se pueden apreciar dos lagunas, una con conexión directa (laguna 1) y tipo de conexión: Boca y otra (laguna 2) con conexión Indirecta y tipo de conexión con cauce temporario y laguna intermedia.

Figura 6.31: Grado y tipo de conexión en dos lagunas en la llanura aluvial del Río Paraná Medio (Km 560 del Río Paraná, Isla Sirgadero, Provincia de Santa Fe, 31°55' S y 60°42' O). Fuente: Paira y Drago, 2007.



**Laguna 1: Grado de conexión: Directa.
Tipo de conexión: Boca.**

**Laguna 2: Grado de conexión: Indirecta.
Tipo de conexión: Cauce temporalio con laguna intermedia.**

Otro rasgo vinculado con la conectividad de las lagunas, son los cambios en la superficie lenítica a medida que crecen los niveles hidrométricos. Para ello se presentan a continuación dos ejemplos. En el primero, se consideró una zona de la llanura aluvial, ubicada en la unidad Deltas de Tributarios de Figuras 6.24 a 6.26, frente a la ciudad de Santo Tomé (Santa Fe) y con una superficie de 15,8 km². El área de estudio tiene como columna vertebral: el Arroyo Catarata, un cauce secundario originado mediante un proceso de jerarquización de surcos de desborde desde el Río Coronda, similar al descrito para el cauce de Figura 6.10 (Paira *et al.*, 2010; Figura 6.32).

En el análisis se consideraron incrementos del nivel hidrométrico de 0,21 m a 0,49 m en acuerdo con las imágenes disponibles seleccionadas para lograr una buena precisión areal de los ambientes leníticos. Se partió de un nivel hidrométrico mínimo de 2,26 m en el hidrómetro de Puerto Santa Fe (Figura 6.32: A). Las variaciones de la superficie lenítica hasta un nivel próximo al de desborde (4,04 m; Figura 6.32: F), se muestran en Figura 6.33. Este salto en el hidrómetro de 1,78 m significó pasar de un área lenítica que ocupaba el 7,3% al 24,6% de la superficie total analizada (Tabla 6.3). Con un incremento del nivel de 0,46 m por sobre el de desborde el área inundada es de 84,4% de la total estudiada (Tabla 6.3 y Figura 6.33).

Figura 6.32: Análisis de afectación hídrica en el área de estudio del Arroyo Catarata (Santa Fe) en la llanura aluvial del Río Paraná Medio. La circunferencia de color amarillo referencia el área estudiada.

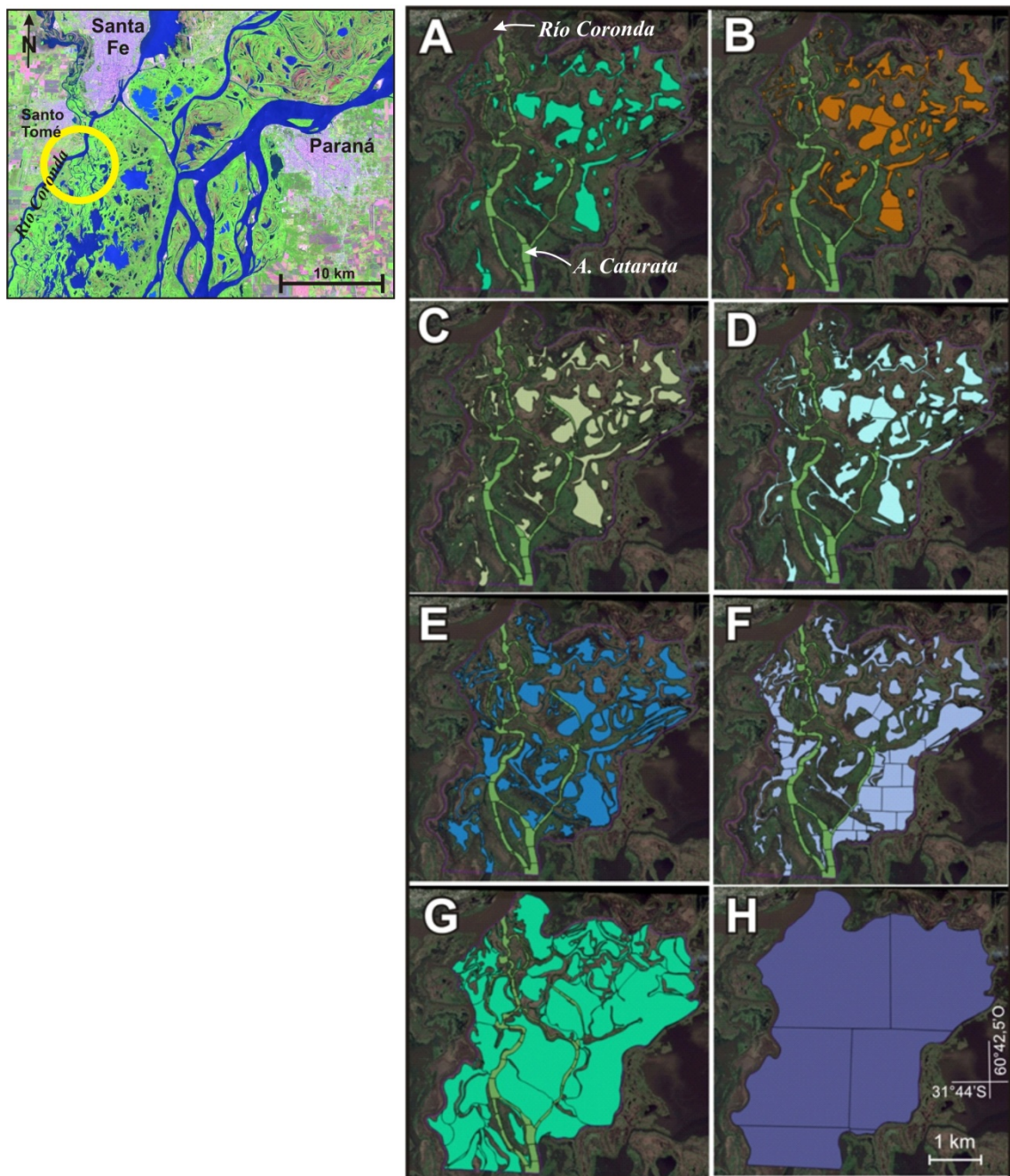


Figura 6.33: Área lenítica (km²) en función del nivel hidrométrico del Puerto de Santa Fe.

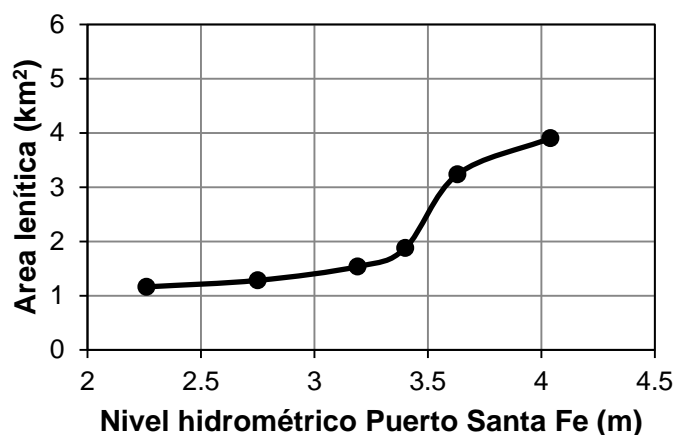


Tabla 6.3: Niveles hidrométricos (m) y área lenítica (km²) en el área de estudio del Arroyo Catarata (Santa Fe).

Imagen	Nivel hidrométrico Puerto Santa Fe (m)	Incremento acumulado (m)	Área lenítica (km ²)	Incremento (km ²)	Porcentaje
A	2,26	--	1,163099	--	7,3
B	2,75	0,49	1,282723	0,119624	8,1
C	3,19	0,93	1,536795	0,254072	9,7
D	3,40	1,14	1,878315	0,341520	11,9
E	3,63	1,37	3,236146	1,357831	20,4
F	4,04	1,78	3,904059	0,667913	24,6
G	4,50	2,24	13,369011	9,464952	84,4
H	6,44	4,18	15,858451	2,489440	100

El otro ejemplo, también corresponde con la unidad Deltas de Tributarios de la llanura, pero más al Norte, frente a la localidad de San Javier (Santa Fe), en la Isla La Rinconada. En este sitio, Gamarra (2014) y Gamarra *et al.* (2015) realizaron análisis temporales del nivel hidrométrico en una superficie de 6,484 km² (Figura 6.34). Estos autores calcularon el aumento del área lenítica al incrementarse el nivel hidrométrico del Río San Javier (Figura 6.35). Se advierte en este caso que el ambiente puramente lenítico se mantendría para niveles del río menores a 5,80 m (Figura 6.34: B). En ese rango, con un incremento en el hidrómetro de 1,34 m, la superficie lagunar aumentó 4,6 veces: de 5,0% a 27,8% de la superficie total del área de estudio (Tabla 6.4, Figura 6.34). Se observa, además, que con un aumento del nivel de 2,80 m se cubre el 87,4% de la superficie de la isla con agua.

Figura 6.34: Análisis de afectación hídrica de la Isla La Rinconada, San Javier (Santa Fe) en la unidad Deltas de Tributarios de la llanura aluvial del Río Paraná Medio. Fuente: Gamarra *et al.* (2015). La circunferencia de color amarillo referencia el área estudiada.

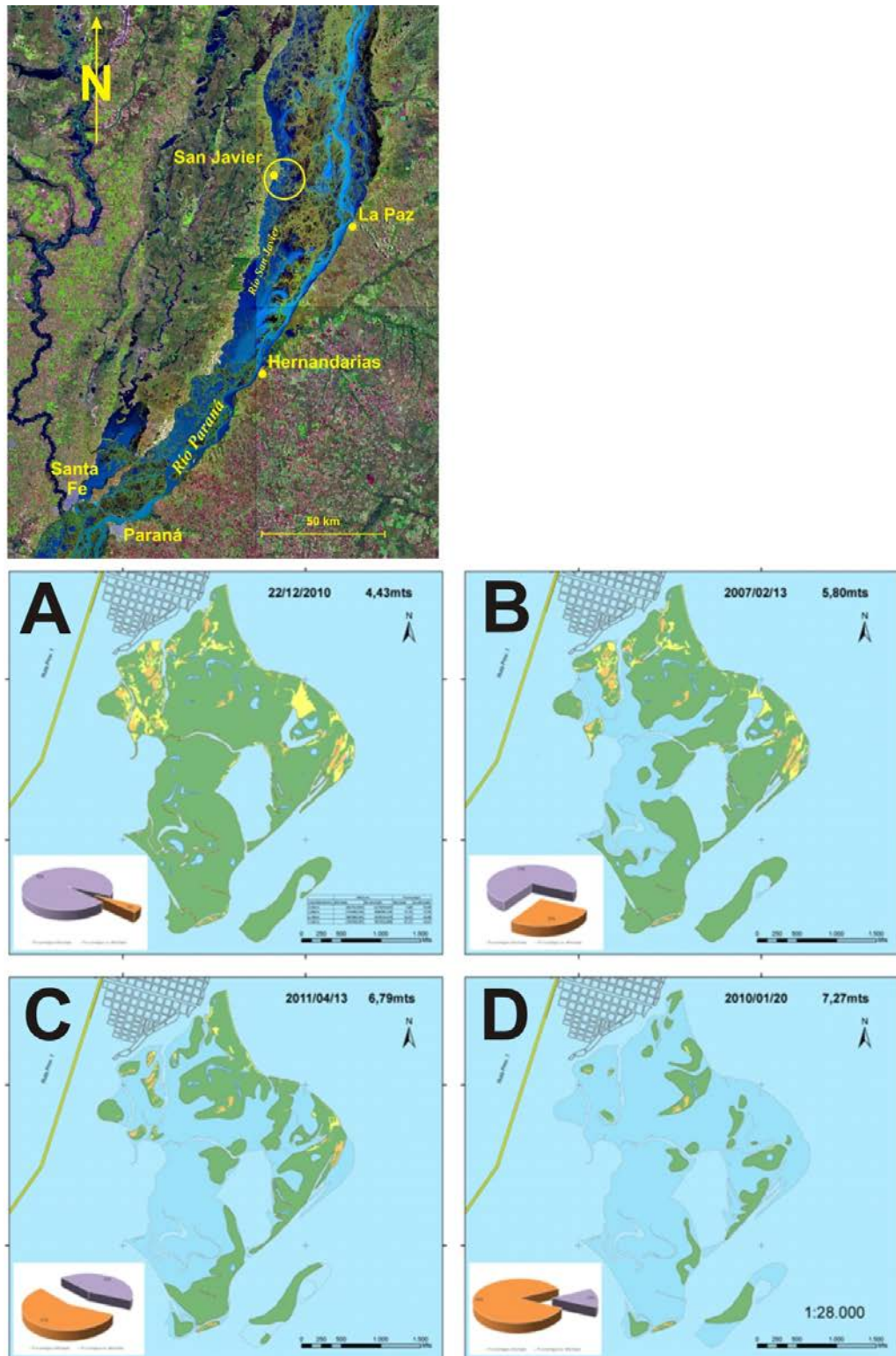


Figura 6.35: Área lenítica (km²) en función del nivel hidrométrico del Río San Javier (San Javier, Santa Fe).

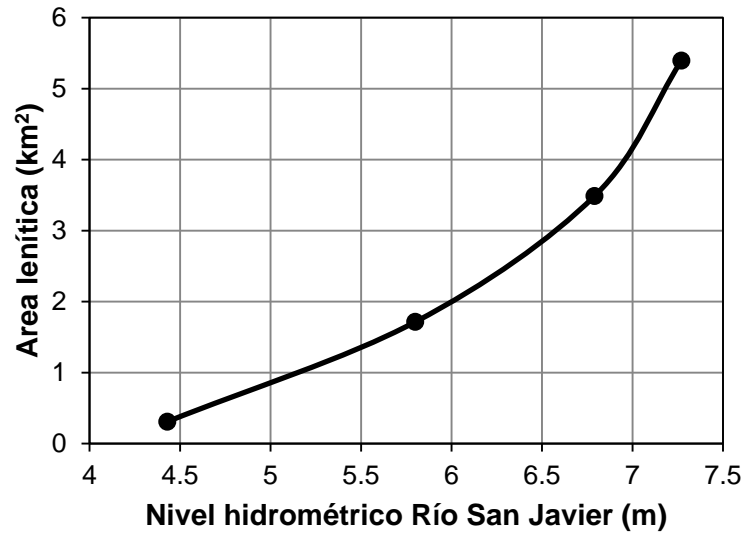


Tabla 6.4: Niveles hidrométricos y área lenítica en la Isla La Rinconada, San Javier (Santa Fe). Fuente: Gamarra *et al.* (2015).

Imagen	Nivel hidrométrico Río San Javier (m)	Incremento del nivel hidrométrico acumulado (m)	Área lenítica (km ²)	Incremento acumulado (km ²)	Porcentaje afectado
A	4,43	0	0,308735	-.-	5,0
B	5,80	1,34	1,714385	1,405650	27,8
C	6,79	2,33	3,487089	1,772704	56,5
D	7,27	2,80	5,394761	1,907672	87,4

A través de estos dos ejemplos, se advierte que: (a) las distintas cotas de la unidad (en ambos casos Delta de Tributarios) no origina mayores diferencias en los incrementos de las áreas leníticas con el nivel hidrométrico; (b) hasta los niveles de desborde el ingreso de agua, sedimento y nutrientes dependería solo de la conectividad de la planicie entre lagunas y cauces menores y secundarios de mayor jerarquía; (c) lo que se plantea en (b) revela con claridad la interacción entre factores externos y endógenos en la evolución de las lagunas, en este caso el agua, sedimento y nutrientes con la conectividad e, implícitamente con sus distancias a los cauces de diversa jerarquía; (d) la relación entre área inundada y área total sería un parámetro adecuado para apreciar el grado de conectividad en las distintas unidades geomorfológicas de la planicie a los fines comparativos y con ello aproximar un panorama del grado de evolución esperable de las lagunas contenidas en cada una de

esas unidades.

6.2.2.5. Precipitaciones locales

Aquí, el acarreo de sedimentos y nutrientes por las precipitaciones de la zona de transición acuática-terrestre (ATTZ; Junk *et al.*, 1989), o humedal fluvial marginal (Neiff, 1994; 1999), o humedal ripario (Mitsch, 1996). Todos en conjunto son procesos que juegan un rol en la evolución de los ambientes leníticos aún insuficientemente estudiados y/o cuantificados.

6.2.3. Factores morfométricos y bióticos

Los factores morfométricos y bióticos son parámetros dimensionales vinculados con la dimensión de las cubetas lagunares y con la cobertura vegetal, respectivamente. Dentro de ellos se pueden considerar el *área* superficial de la laguna, la *profundidad* máxima, la *cobertura de vegetación acuática*-palustre o cantidad de superficie lagunar ocupada con vegetación acuática y la *distribución perimetral de árboles y arbustos* (fracción porcentual del perímetro lagunar ocupada por árboles y arbustos). Como ya se mencionó al comienzo de este capítulo, algunos de estos parámetros fueron estudiados por Paira y Drago (2006, 2007) y experiencias con colegas y especialistas en reuniones científicas como el “Workshop on Morphodynamics Processes in Large Lowland Rivers 2007” y el “Simposio de Grandes ríos de América del Sur en el IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología 2009”, que fueron claves para generarlos.

6.2.3.1. Área de la superficie lagunar y profundidad máxima

Cuanto menor es la superficie de agua de una laguna, en general, más rápidamente tiende a un pantano y luego a convertirse en un ambiente terrestre.

En el Río Paraná Medio las áreas medias de las lagunas en los tres tramos están comprendidas entre 0,29 km² y 0,53 km², con áreas de 0,01 km² a 0,50 km² entre el 74,4% y el 87,5% y con un área de hasta 1,50 km² entre el 91,1% y el 97,6% de las lagunas (Tabla 6.5).

Tabla 6.5: Valores del área de las lagunas en los tres tramos del Río Paraná Medio (áreas media, mínima y máxima, porcentaje de lagunas con áreas hasta 0,50 km² y

hasta 1,50 km², superficie cubierta por las lagunas y número de lagunas trabajadas en cada tramo).

Area (km ²)	Media (km ²)	Mínima y máxima (km ²)	% hasta 0,50 km ²	% hasta 1,50 km ²	Superficie total (km ²)	N° de lagunas
Tramo Norte	0,29	0,01 – 5,68	85,9	97,6	147,5	505
Tramo Centro	0,32	0,01 – 14,68	87,5	97,5	292,5	917
Tramo Sur	0,53	0,05 – 3,58	74,4	91,1	41,0	78

Con relación a la profundidad, la media del valor máximo en los tres tramos está en el rango de 1,42 m a 2,35 m; el rango de las mínimas profundidades máximas fue de 0,20 m-0,36 m y el de las máximas de 4,00 m-5,30 m. Entre el 5,7% y el 15,7% de las lagunas tienen una profundidad de hasta 0,50 m, hasta 1,50 m del 22,8% al 65,3% y hasta 3,50 m desde el 88,5% al 98,5% de las lagunas (Tabla 6.6).

Tabla 6.6: Valores de la profundidad máxima de las lagunas en los tres tramos del río Paraná Medio (profundidad máxima media, mínima y máxima, porcentaje de lagunas con profundidades máximas hasta 0,50 m, hasta 1,50 m y hasta 3,50 m y número de lagunas trabajadas en cada tramo).

	Media (m)	Mínima y máxima (m)	% hasta 0,50 m	% hasta 1,50 m	% hasta 3,50 m	N° de lagunas
Tramo Norte	1,42	0,20 – 5,30	15,7	65,3	96,0	280
Tramo Centro	1,42	0,25 – 4,00	12,6	63,7	98,5	515
Tramo Sur	2,35	0,36 – 5,00	5,7	22,8	88,5	35

Considerando solamente estos dos parámetros morfométricos (área y profundidad máxima), en general se pueden prever procesos evolutivos acelerados en las lagunas debido a sus áreas relativamente pequeñas y baja profundidad. En principio, tenderán a una pronta senescencia. Este sería el caso de las lagunas alargadas (Paira y Drago, 2007), que por ejemplo, presentan una predominancia en la llanura aluvial del Paraná Medio con el 55,1% (de las cuales las alargadas finas son el 37,4% y las anchas el 17,7%). Además, son las más pequeñas con una media de 0,20 km² y las más someras con 1,26 m de profundidad media (Paira y Drago, 2006; 2007).

6.2.3.2. Cobertura de la vegetación acuática

Desde el punto de vista geomorfológico, en la construcción de las llanuras de inundación al igual que en la evolución de sus cauces de drenaje, la vegetación acuática y ribereña es un factor físico significativo (Marston *et al.*, 1995; Knighton, 1998). Es un hecho que las zonas con vegetación hidrófita y helófita están estrechamente relacionadas con los procesos de agradación y en la estabilidad de los márgenes de los cauces, las costas de las lagunas, los bancos y las islas (Casco *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2013a, 2013b y 2016). Además, en muchas lagunas de la planicie de inundación durante la fase de estiaje, se puede observar una zonificación con vegetación acuática, semiacuática y terrestre a lo largo del gradiente topográfico. Estas plantas acuáticas son herramientas eficaces para favorecer la deposición de sedimentos durante las fases de inundación y pueden permanecer en las costas de las lagunas durante las fases de sequía, aumentando así las tasas de sedimentación (Drago *et al.*, 2003; Figura 6.36).

Figura 6.36: Laguna aluvial en donde se puede apreciar la vegetación acuática, semiacuática y terrestre en la fase de estiaje. Nótese la acumulación de vegetación con sedimentos (**A**) en lo que era el fondo de la laguna (isla ubicada entre el Río Coronda y el Arroyo Catarata, 31°42' 46" S y 60°44' 40" O). Foto: Aldo Paira.



La dinámica hidrosedimentológica del Río Paraná, con sus períodos anuales de aguas altas y bajas, es el factor determinante de los cambios visibles y/o cuantificables en las comunidades bióticas y particularmente en las macrófitas (Sabattini y Lallana, 2007). Estos períodos de potamofase, limnofase y pulsos, están ampliamente documentados por Neiff (1990, 1996, 1999), Sabattini y Lallana (2007), entre otros y su influencia en las comunidades de plantas ha sido modelada por Casco *et al.* (2005).

En particular en las lagunas, la vegetación acuática flotante y arraigada es un factor importante en su evolución morfológica y biológica. Es en los ambientes

leníticos, en donde presentan la mayor riqueza específica comparada con ríos y arroyos lo cual se puede relacionar con el tiempo de retención del agua, la suave pendiente de la cubeta y la poca profundidad (Bayo *et al.*, 1981; Drago y Vasallo, 1980; Sabbattini y Lallana, 1998).

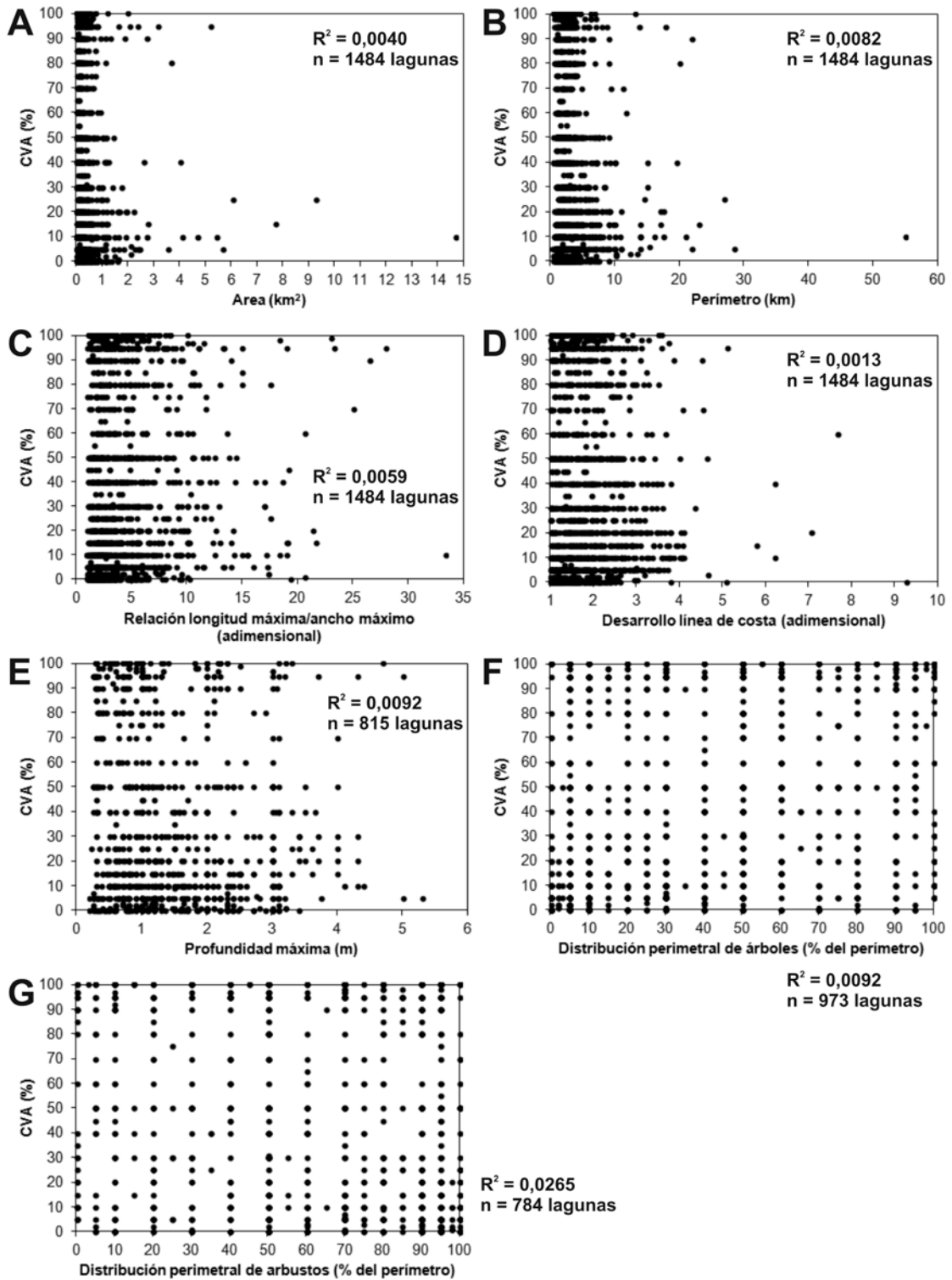
En general, en las lagunas de la planicie del Paraná Medio hay dos especies co-dominantes, la comunidad del “catai” (*Polygonum ferrugineum* y *Polygonum punctatum*) y la comunidad del “canutillo” (*Panicum elephantipes* y *Paspalum repens*). También se encuentran importantes comunidades como la “verdolaga” (*Ludwigia peloides*), el “camalote” (*Eichhornia crassipes*), el “helecho de agua” (*Azolla caroliniana*) y el “helechito de agua” (*Salvinia herzogii*) (Sabbattini y Lallana, 2007).

La densa red de tallos y raíces de la vegetación acuática está fuertemente asociada a los procesos de sedimentación, como se explica más arriba, debido a que producen un efecto de trampa de sedimentos (Drago y Vasallo, 1980). Por ejemplo, la contribución de *Eichhornia crassipes* a la acumulación de material orgánico e inorgánico en el fondo de las lagunas es muy importante: de 12 a 16 toneladas ha⁻¹ año⁻¹ (Lallana, 1980; Neiff y Poi de Neiff, 1984). En el caso de lagunas aisladas cubiertas con macrófitas, el 80% de la materia orgánica total depositada en el fondo es materia orgánica particulada gruesa producida principalmente por *Eichhornia crassipes* (Ezcurra de Drago *et al.*, 2007).

El análisis de la cobertura de la vegetación acuática en las lagunas del Paraná Medio en función de otros parámetros medidos: área superficial, perímetro, relación longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa, profundidad máxima, distribución perimetral de árboles y distribución perimetral de arbustos, demuestra que no existe correlación con ninguno de ellos, con coeficientes de determinación (R^2) muy bajos (Figura 6.37). Los diagramas de dispersión muestran que la vegetación acuática en las lagunas cubre entre 0% y 100% de la superficie de agua para lagunas con áreas menores a aproximadamente 2 km², perímetros hasta 10 km de longitud, relación longitud máxima/ancho máximo hasta un valor de 10, desarrollo de la línea de costa hasta un valor de 3 y profundidad máxima hasta un poco más de 3 metros (Figura 6.37: A, B, C, D y E). La cobertura de macrófitas acuáticas en las lagunas no tiene relación con la distribución de árboles ni arbustos en sus perímetros (Figura 6.37: F y G).

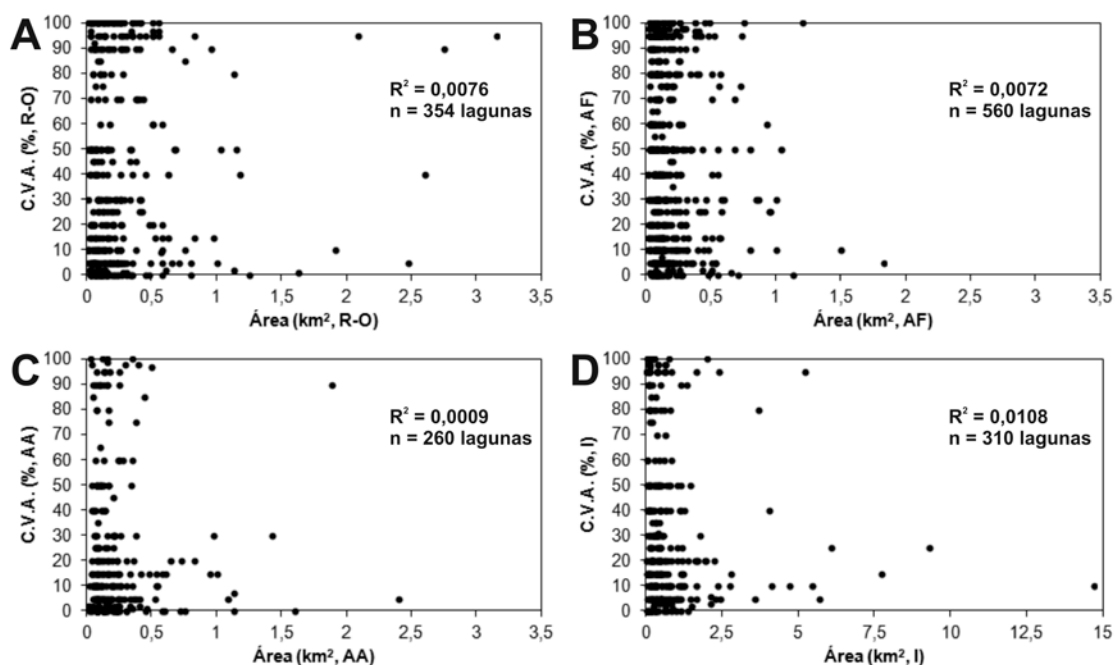
Figura 6.37: Cobertura de la vegetación acuática (CVA) que cubren las lagunas en porcentaje de la superficie lagunar en función del área, perímetro, relación entre

longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa, profundidad máxima, distribución perimetral de árboles y de arbustos. R^2 : coeficiente de determinación y n : número de lagunas estudiadas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



Cuando se analiza la cobertura de vegetación acuática por forma de laguna de acuerdo a la clasificación de Paira y Drago (2007), oscila entre 0% y 100% en las lagunas con áreas hasta 1 km² en aquellas con forma Redonda-oval (R-O), Alargada Fina (AF) y Alargada Ancha (AA, Figura 6.38: A, B y C) y con áreas hasta 2,5 km² con forma Irregular (I; Figura 6.38: D).

Figura 6.38: Cobertura de la vegetación acuática (CVA) que cubren las lagunas en porcentaje de la superficie lagunar por forma de laguna (Paira y Drago, 2007) en función del área. R-O: Laguna con forma Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular. R²: coeficiente de determinación y n: número de lagunas estudiadas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



Como se he mencionado en el Capítulo 4, los valores medios de la cobertura de la vegetación acuática en la superficie lagunar son 43,9%, 33,6% y 40,9% en los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente y también detallado los valores de la distribución de frecuencias por cada tramo, que a modo de resumen, se presentan en la Tabla 6.7. En los tres tramos, la mayor cantidad de lagunas sin vegetación, son las lagunas que se encuentran en el tramo Norte (11,1%), el 6,8% de las lagunas del Centro y el 1,3% de las del Sur. Con la mitad de su superficie ocupada con macrófitas, son el 10,3% de las lagunas del tramo Norte, el 8,9% del Centro y el 7,7% del tramo Sur. Con relación al cubrimiento total con vegetación acuática, la cantidad de lagunas

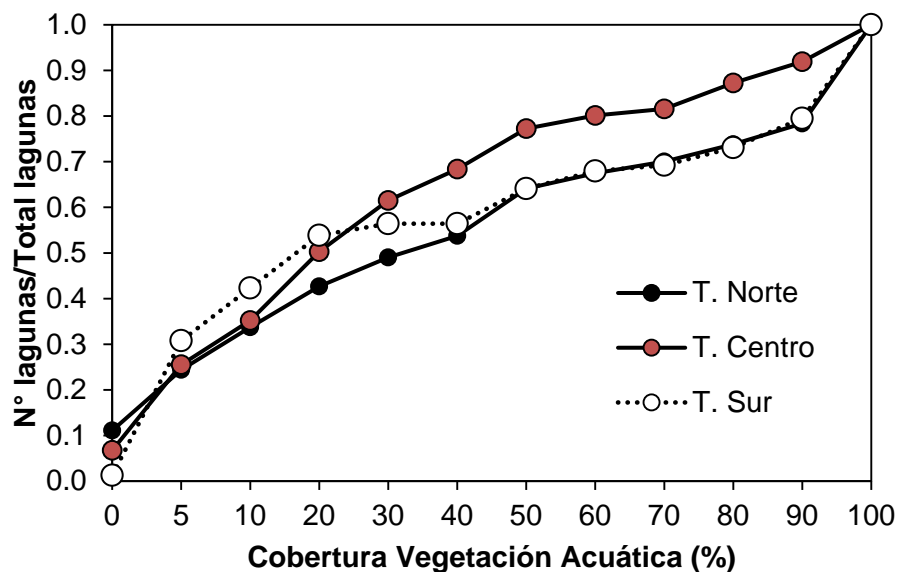
(en porcentaje) son similares en los tramos Norte y Sur (21,6% y 20,5%) y menor aún las lagunas del Centro (8,1%).

Tabla 6.7: Frecuencias (%) de la cobertura de vegetación acuática (%) en cada tramo (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio.

Cobertura vegetación acuática (%)	Tramo Norte (505 lagunas)		Tramo Centro (901 lagunas)		Tramo Sur (78 lagunas)	
	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)
0	11,1	11,1	6,8	6,8	1,3	1,3
5	13,3	24,4	18,8	25,5	29,5	30,8
10	9,3	33,7	9,7	35,2	11,5	42,3
20	8,9	42,7	15,1	50,3	11,5	53,8
30	6,3	49,0	11,2	61,5	2,6	56,4
40	4,8	53,8	6,9	68,4	0,0	56,4
50	10,3	64,1	8,9	77,2	7,7	64,1
60	3,4	67,5	2,9	80,1	3,8	67,9
70	2,6	70,0	1,4	81,6	1,3	69,2
80	3,8	73,8	5,7	87,2	3,8	73,1
90	4,6	78,4	4,7	91,9	6,4	79,5
100	21,6	100,0	8,1	100,0	20,5	100,0

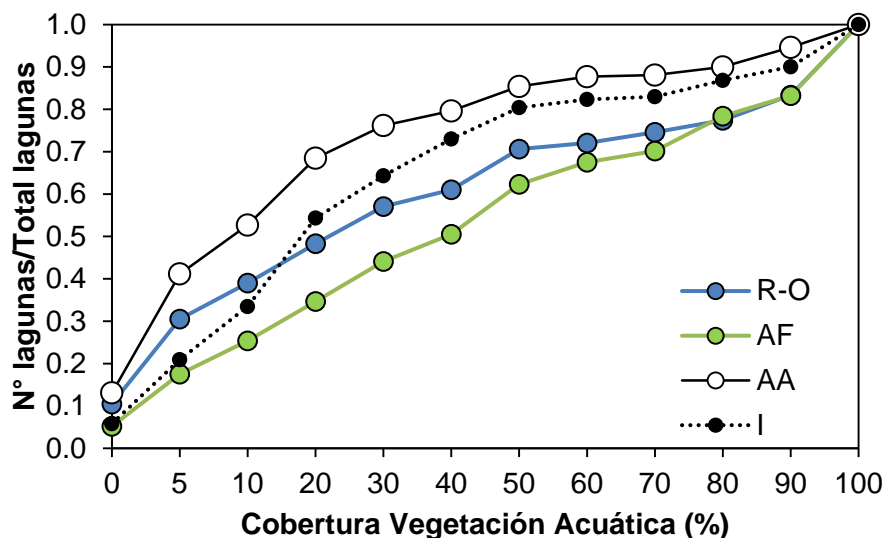
El crecimiento de la vegetación acuática en la superficie de las lagunas es diferente en los tres tramos (Norte, Centro y Sur). En los tramos Norte y Centro, un tercio de las lagunas presentan un similar desarrollo de la cobertura de vegetación acuática hasta llegar a cubrir el 10% de la superficie, mientras que en el Tramo Sur, llegan al mismo porcentaje más del 40% de las lagunas. La cobertura de la vegetación acuática en las lagunas del tramo Centro, es menor con respecto a los otros tramos. En el Tramo Sur la mitad de las lagunas llegan rápidamente al 20% de cobertura de vegetación acuática en su superficie lagunar, donde después las macrófitas presentan una ocupación similar a las lagunas del Tramo Norte (Figura 6.39).

Figura 6.39: Número de lagunas sobre el total de lagunas (1.484 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



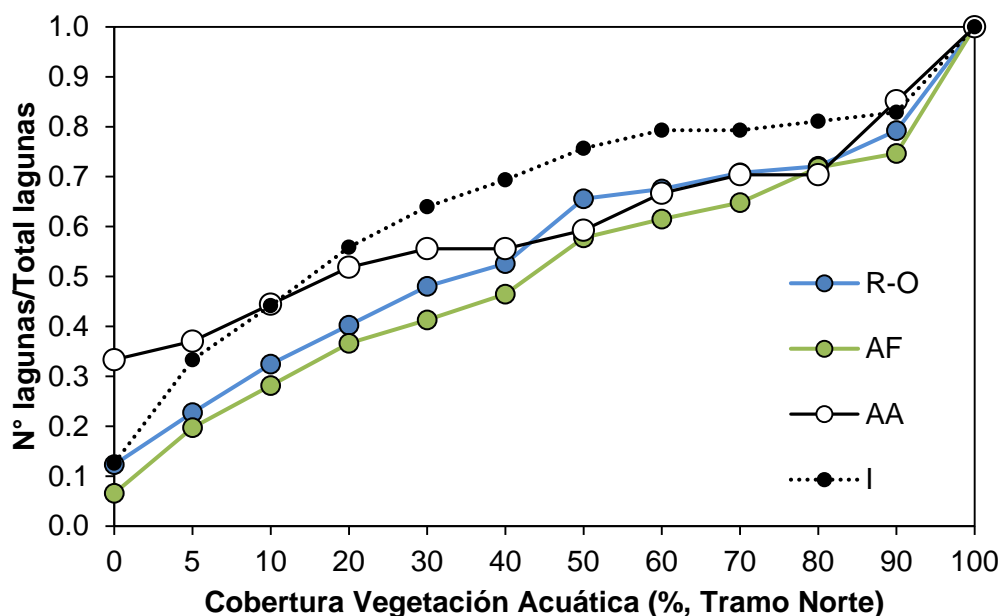
Con respecto a la cobertura de la vegetación acuática por forma de laguna (Paira y Drago, 2007; Figura 6.40) en todo el Paraná Medio, las lagunas Alargadas Anchas (AA) en primer lugar y las Irregulares (I) en el segundo, serían las menos cubiertas con vegetación comparadas con el resto de las formas. Por ejemplo, el 70% de las Alargadas Anchas (AA) tienen el 20% de superficie cubierta, mientras que el 70% de las Alargadas Finas (AF), entre el 70% y 80% cubierto. Es de hacer notar entonces, que las menos cubiertas son las Alargadas Anchas (AA) y las más cubiertas, las Alargadas Finas (AF).

Figura 6.40: Número de lagunas sobre el total de lagunas (1.484 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) por forma de laguna (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular) en la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



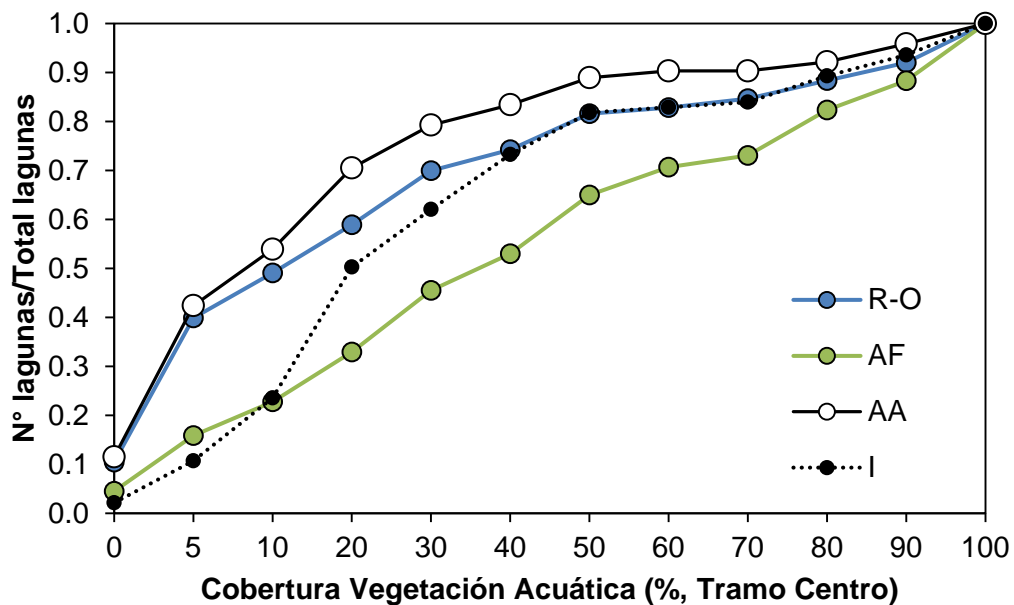
Analizando la cobertura de vegetación acuática para el Tramo Norte y por forma de laguna (Paira y Drago, 2007), un tercio de las lagunas Alargadas Anchas (AA) y el 5% de las lagunas Alargadas Finas (AF) no tienen vegetación acuática. Casi el 40% de las lagunas Alargadas Anchas (AA) y el 20% de las Alargadas Finas (AF) apenas tienen el 5% de su superficie ocupada por macrófitas. A partir del 40% de las lagunas Irregulares (I) hasta la totalidad, son las menos cubiertas con macrófitas. Las Alargadas Finas (AF) son las que presentan mayor cubierta vegetal (Figura 6.41).

Figura 6.41: Número de lagunas sobre el total de lagunas (505 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) para el Tramo Norte por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



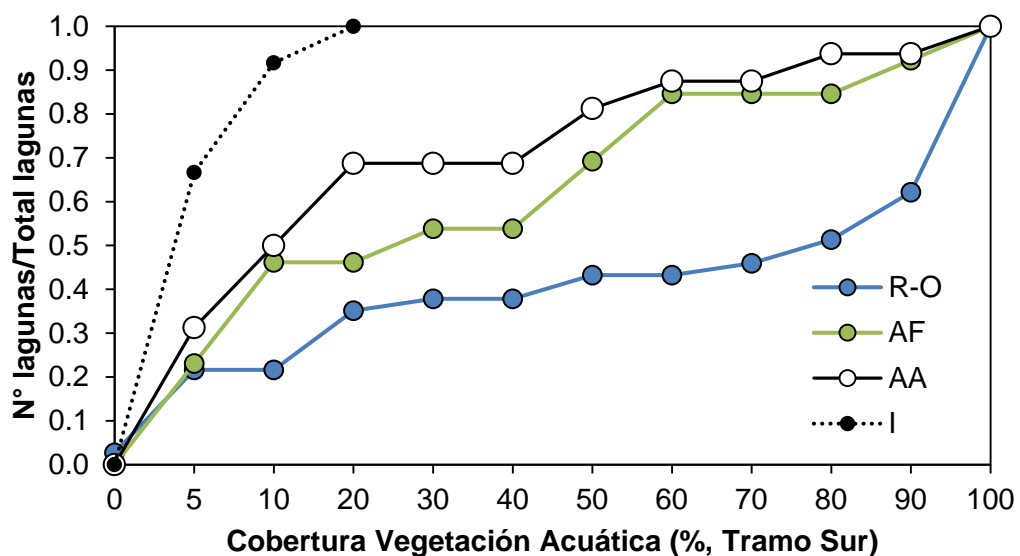
En el Tramo Centro (Figura 6.42), las lagunas Alargadas Anchas (AA) son las que menos cobertura vegetal tienen, comparadas con las Alargadas Finas (AF). Por ejemplo, más del 50% de las Alargadas Anchas (AA) y el 20% de las Alargadas Finas (AF) tienen la misma cubierta vegetal del 10%. La cobertura en el resto de las formas (R-O e I) varía entre las Alargadas Finas (AF) y las Alargadas Anchas (AA).

Figura 6.42: Número de lagunas sobre el total de lagunas (901 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) para el Tramo Centro por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



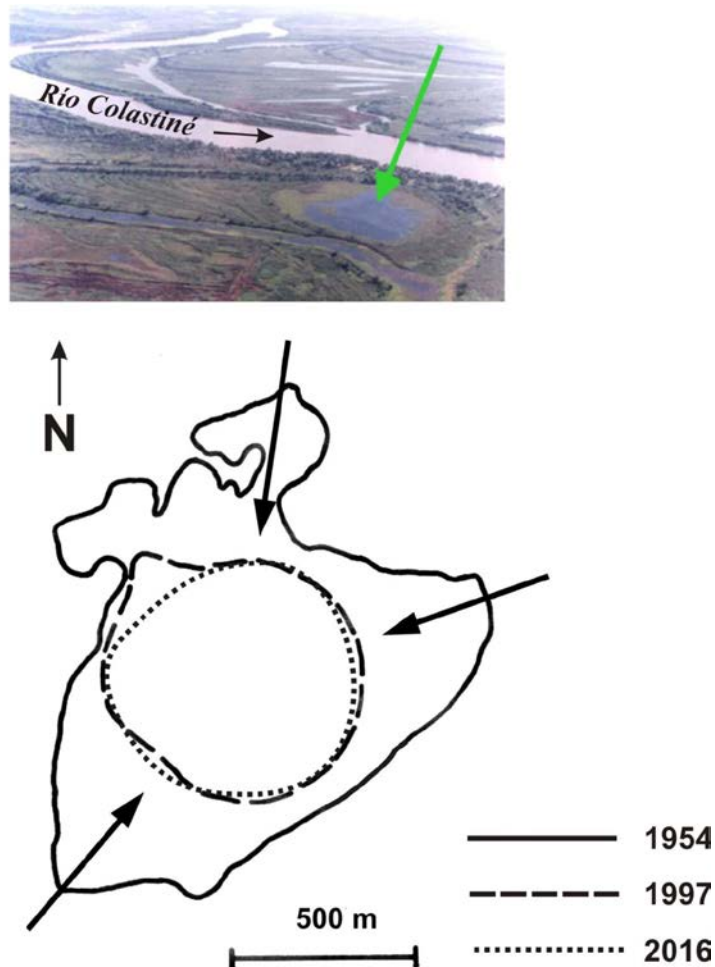
En el Tramo Sur (Figura 6.43), las lagunas Irregulares (I) son las que menos cobertura de vegetación acuática presentan, en comparación con las Redondas-Ovaladas. Se puede apreciar, que la totalidad de las Irregulares tienen el 20% de cobertura vegetal, mientras que la tercera parte de las Redondas-Ovaladas, tienen el mismo porcentaje. Las lagunas Alargadas Anchas (AA) y las Alargadas Finas (AF), también presentan menor desarrollo de cobertura de macrófitas siguiendo a las Irregulares.

Figura 6.43: Número de lagunas sobre el total de lagunas (78 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) para el Tramo Sur por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



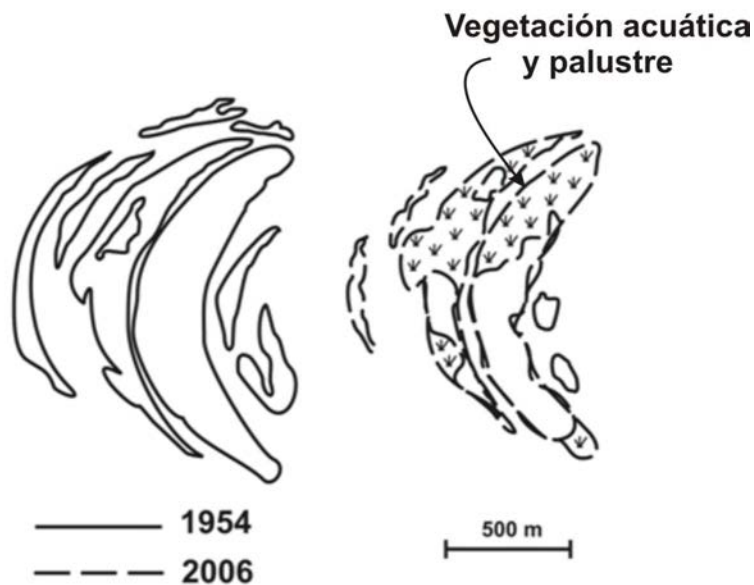
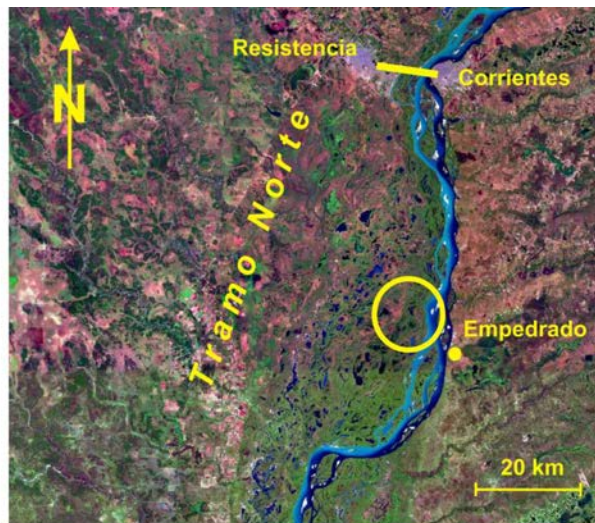
La cobertura de vegetación acuática, debido a los procesos indicados, es el primer escalón hacia la “terrestrialización” (Paira y Drago, 2006) o último estadio en la evolución lagunar. En los siguientes ejemplos se ilustra el papel de la cobertura vegetal en dos formas de lagunas “redondeando” (Paira y Drago, 2006) sus perímetros y reduciendo la superficie lenítica a lo largo del tiempo en un proceso evolutivo hacia el último estadio mencionado. El primer ejemplo, es una laguna de forma irregular ubicada en la Isla Cañas, muy cerca del Río Colastiné, en el límite entre los tramos Centro y Sur. La contracción de su superficie fue de 61% en 43 años (1954-1997), migrando su línea de costa hacia el centro de la laguna un promedio de 5 m por año y permaneciendo hasta el 2016 (Figura 6.44).

Figura 6.44: Proceso de redondeamiento desde 1954 a 2016 por eliminación de las irregularidades de la línea de costa por la vegetación acuática y palustre, sedimentación, etc., en una laguna en la Isla Cañas, Santa Fe (31°40' S y 60°37' O). La flecha verde indica la ubicación de la laguna, las flechas negras indican la dirección de la progradación de la línea de costa o perímetro. Fuente: Paira y Drago, 2006.



El segundo ejemplo se refiere a un conjunto de lagunas de espiras o Alargadas Finas ubicadas en el tramo Norte de la llanura aluvial, frente a la localidad de Empedrado (Corrientes). Algunas de ellas se han anexado formando una laguna irregular. El avance de la vegetación acuática ha sido notable puesto que en 52 años la vegetación acuática y palustre ha terrestreizado lagunas alargadas finas y ha cubierto más de la mitad de la superficie de las lagunas restantes (Figura 6.45).

Figura 6.45: Proceso de redondeamiento desde 1954 a 2006 por anexión y eliminación de las irregularidades de la línea de costa por la vegetación acuática y palustre, sedimentación, etc., en una laguna ubicada en 27°53' 17" S y 58°53' 27" O frente a Empedrado (Corrientes).



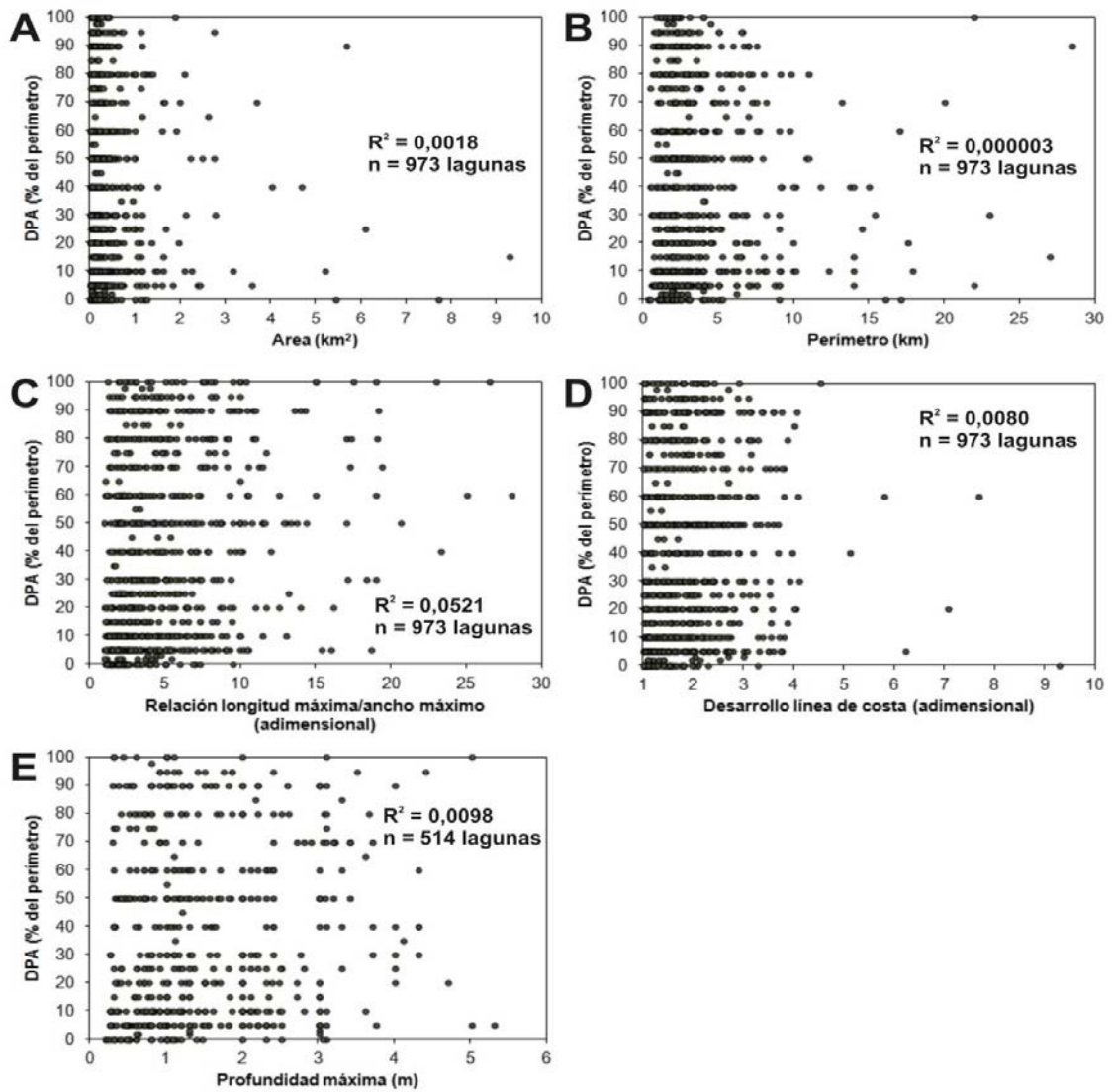
6.2.3.3. Distribución perimetral de árboles

El bosque aluvial está representado principalmente por las especies desarrolladas en los albardones con la mayor riqueza detectada en los albardones más antiguos. El paisaje típico son los bosques ribereños que cubren las riberas de los cauces de la llanura inundable (Casco *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2013a, 2013b).

Especies como *Tessaria integrifolia* (aliso de río) y *Salix humboldtiana* (sauce) son los árboles pioneros que cubren los albardones, así como los depósitos aluviales, bancos e islas. El 25% de las lagunas de la llanura de inundación tienen el 10% de sus costas cubiertas por bosques aluviales y más del 30% de las cuencas muestran sus costas entre el 90% y el 100% cubiertas por densa vegetación baja, como plantas y arbustos de *Schoenoplectus californicus* (junco o totora), *Polygonum spp.*, *Panicum prionitis* (paja brava), *Echinodorus grandiflora* (cucharero o calita), *Sagittaria montevidensis*, etc. (Paira, 2003; Paira y Drago, 2006).

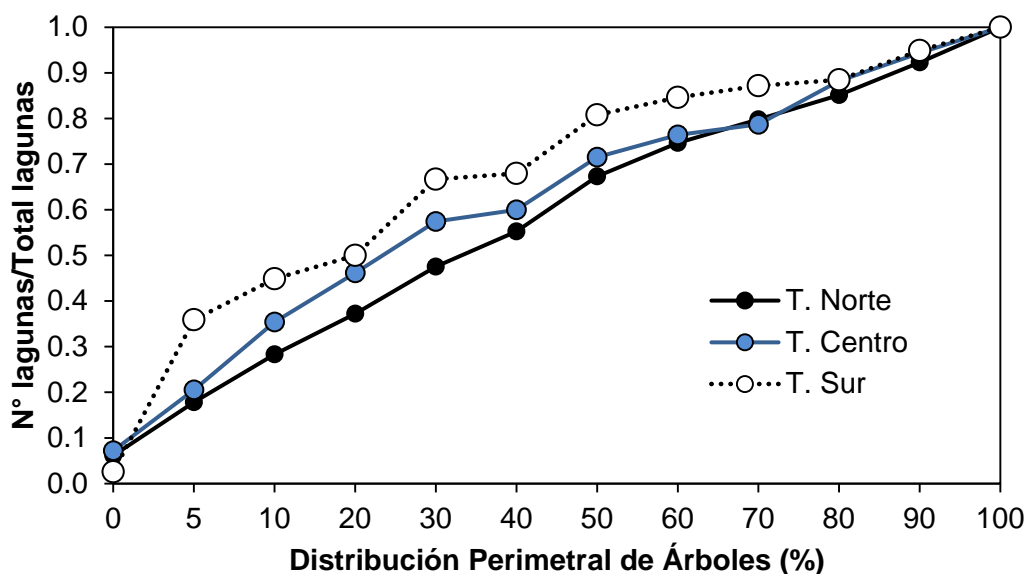
El análisis de la distribución de los árboles en el perímetro de las lagunas en función de los otros parámetros medidos (área superficial, perímetro, relación longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa y profundidad máxima), revela que no existe relación entre ellos, con coeficientes de determinación (R^2) muy bajos (Figura 6.46). La distribución de árboles en el perímetro lagunar varía entre 0% y 100% en lagunas con áreas menores a 1 km², perímetros de hasta aproximadamente 5 km de longitud, relaciones longitud máxima/ancho máximo hasta un valor de 10, desarrollo de la línea de costa hasta un valor de 3 y profundidad máxima hasta un poco más de 3 metros (Figura 6.46: A, B, C, D y E). Además, como se demostró anteriormente, la cobertura de macrófitas acuáticas en las lagunas no tiene relación con la distribución de árboles (Figura 6.37: F).

Figura 6.46: Distribución de los árboles en el perímetro de las lagunas (DPA) en porcentaje del perímetro que ocupan en función del área, perímetro, relación entre la longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa y profundidad máxima. R^2 : coeficiente de determinación y n: número de lagunas estudiadas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



La presencia de árboles en el perímetro de las lagunas (Figura 6.47), es escaso en el tramo Sur (desde el 35% hasta el 90% de las lagunas) y más abundante en el tramo Norte. Por ejemplo, más de la tercera parte de las lagunas del tramo Sur tienen solamente el 5% de su perímetro ocupado con árboles, mientras que el mismo porcentaje lo tienen la quinta parte de las lagunas del tramo Norte y Centro.

Figura 6.47: Número de lagunas sobre el total de lagunas (973 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



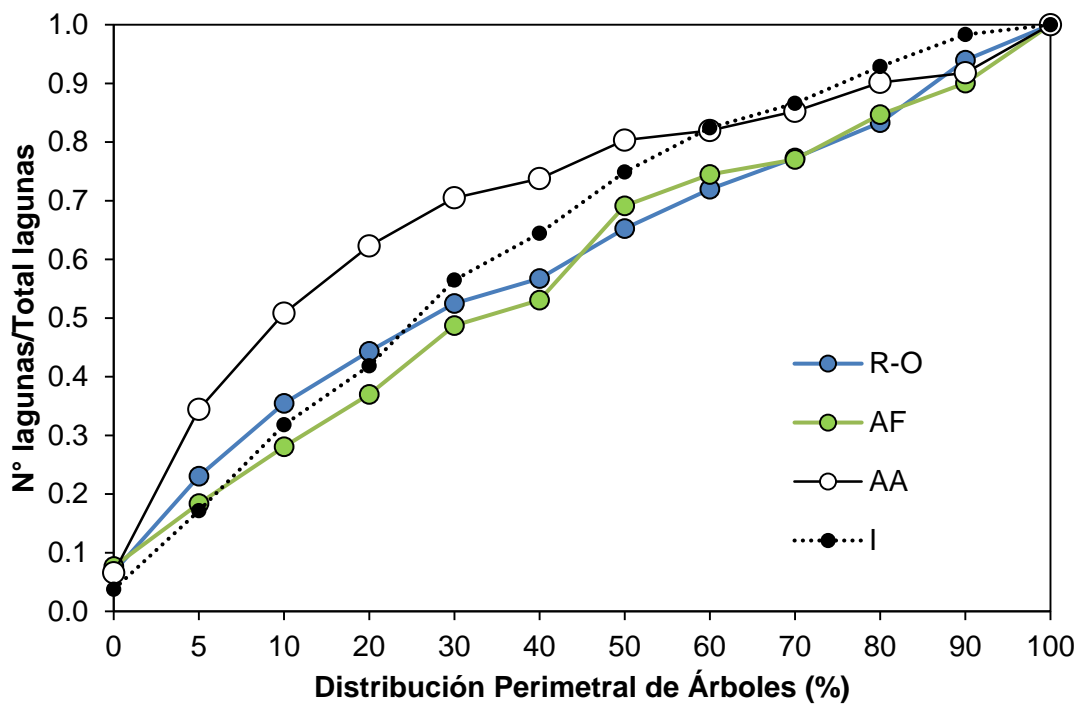
Los valores medios de la distribución perimetral de árboles en el perímetro lagunar son 41,6%, 36,7% y 30,4% en los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente. En la Tabla 6.8 se presenta la distribución de frecuencias, en donde se puede apreciar que muy pocas lagunas no tienen árboles (6,1%, 7,2% y 2,6%, de Norte a Sur). Se incrementa la cantidad de lagunas que poseen árboles en la mitad de su perímetro (12,1%, 11,5% y 12,8%) y disminuyen la cantidad que tiene todo su perímetro ocupado (7,7%, 5,6% y 5,1%, también de Norte a Sur).

Tabla 6.8: Frecuencias (%) de la distribución perimetral de árboles (%) en cada tramo (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio.

Distribución perimetral de árboles (%)	Tramo Norte (505 lagunas)		Tramo Centro (390 lagunas)		Tramo Sur (78 lagunas)	
	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)
0	6,1	6,1	7,2	7,2	2,6	2,6
5	11,7	17,8	13,3	20,5	33,3	35,9
10	10,5	28,3	14,9	35,4	9,0	44,9
20	8,9	37,2	10,8	46,2	5,1	50,0
30	10,3	47,5	11,3	57,4	16,7	66,7
40	7,7	55,2	2,6	60,0	1,3	67,9
50	12,1	67,3	11,5	71,5	12,8	80,8
60	7,3	74,7	4,9	76,4	3,8	84,6
70	5,1	79,8	2,3	78,7	2,6	87,2
80	5,3	85,1	9,5	88,2	1,3	88,5
90	7,1	92,3	6,2	94,4	6,4	94,9
100	7,7	100,0	5,6	100,0	5,1	100,0

Con respecto a la distribución de árboles en el perímetro de las lagunas por forma de laguna (Paira y Drago, 2007; Figura 6.48) en el Paraná Medio, las lagunas Alargadas Anchas (AA) son las que menos árboles poseen comparadas con el resto. Por ejemplo, el 35% de las Alargadas Anchas (AA) tienen el 5% de su perímetro ocupado por árboles y el 80% tienen el 50%, mientras que la misma ocupación la tienen menos del 20% de las Irregulares (I) y Alargadas Finas (AF) y el 65% de Redondas-Ovaladas (R-O) y Alargadas Finas (AF), respectivamente.

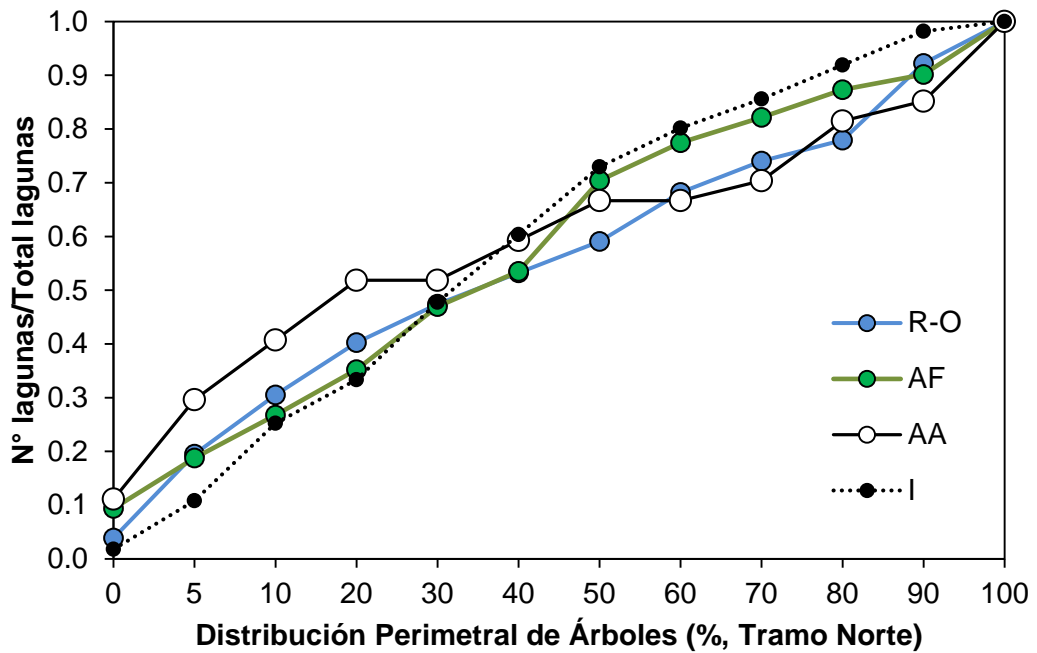
Figura 6.48: Número de lagunas sobre el total de lagunas (973 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) por forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



En el Tramo Norte y por forma de laguna (Paira y Drago, 2007), más de la mitad de las lagunas Alargadas Anchas (AA) tienen menos árboles en su perímetro lagunar, comparadas con las Irregulares (I), que son las que más poseen (Figura 6.49). Por ejemplo, el 55% de las Alargadas Anchas (AA) tienen el 20% de su perímetro con árboles, mientras el mismo porcentaje de árboles lo tienen el 30% de las Irregulares (I). También, el 60% de ambas formas tienen el mismo porcentaje de árboles (40%) y luego se invierte la distribución, en donde las Irregulares pasan a tener menos árboles, comparadas con las Alargadas Anchas, donde por ejemplo, el

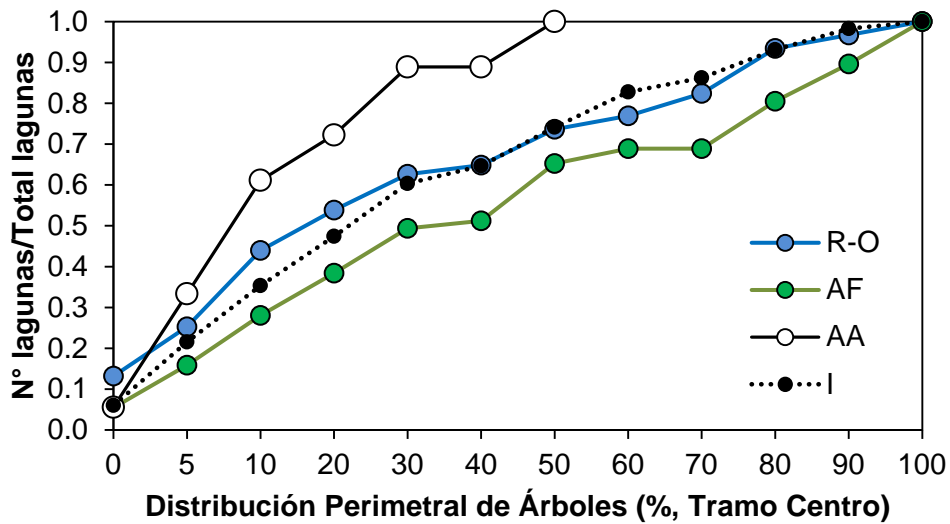
90% de las Irregulares tienen el 80% de árboles y las Redondas-Ovaladas y Alargadas Anchas el 80 %.

Figura 6.49: Número de lagunas sobre el total de lagunas (505 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) para el Tramo Norte por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



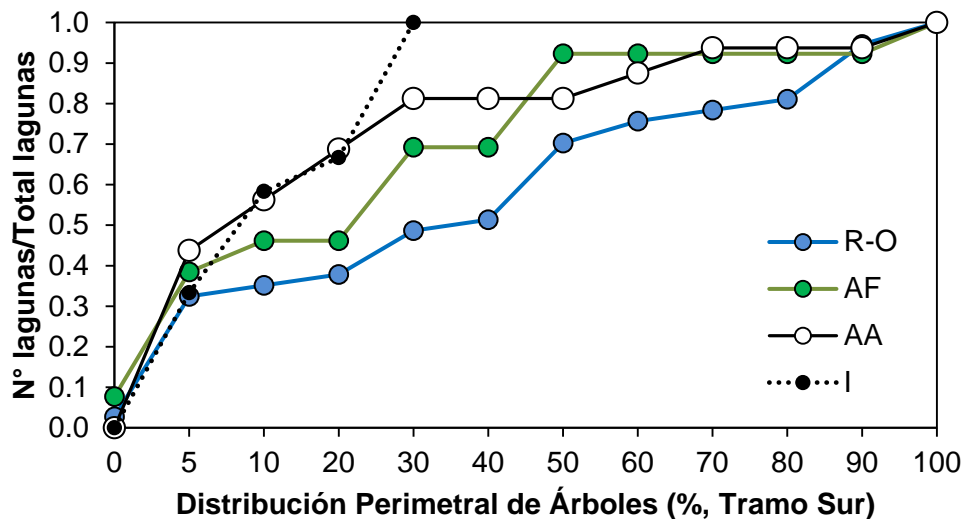
En el tramo Centro (Figura 6.50), las lagunas Alargadas Anchas son las que menos árboles presentan en su perímetro, en donde la totalidad de ellas sólo tienen como máximo hasta la mitad de su contorno ocupado, en contraste, las Alargadas Finas son las que poseen mayor cantidad.

Figura 6.50: Número de lagunas sobre el total de lagunas (390 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) para el Tramo Centro por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



En el tramo Sur, las lagunas Irregulares son las que menos árboles presentan en su perímetro, en donde la totalidad de ellas tiene hasta el 30% ocupado. Luego le siguen las Alargadas Finas y las Anchas. El 90% de las AF tienen el 50% ocupado por árboles y las AA el 70%. Las R-O son las que más árboles presentan en su perímetro (Figura 6.51).

Figura 6.51: Número de lagunas sobre el total de lagunas (78 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) para el Tramo Sur por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).

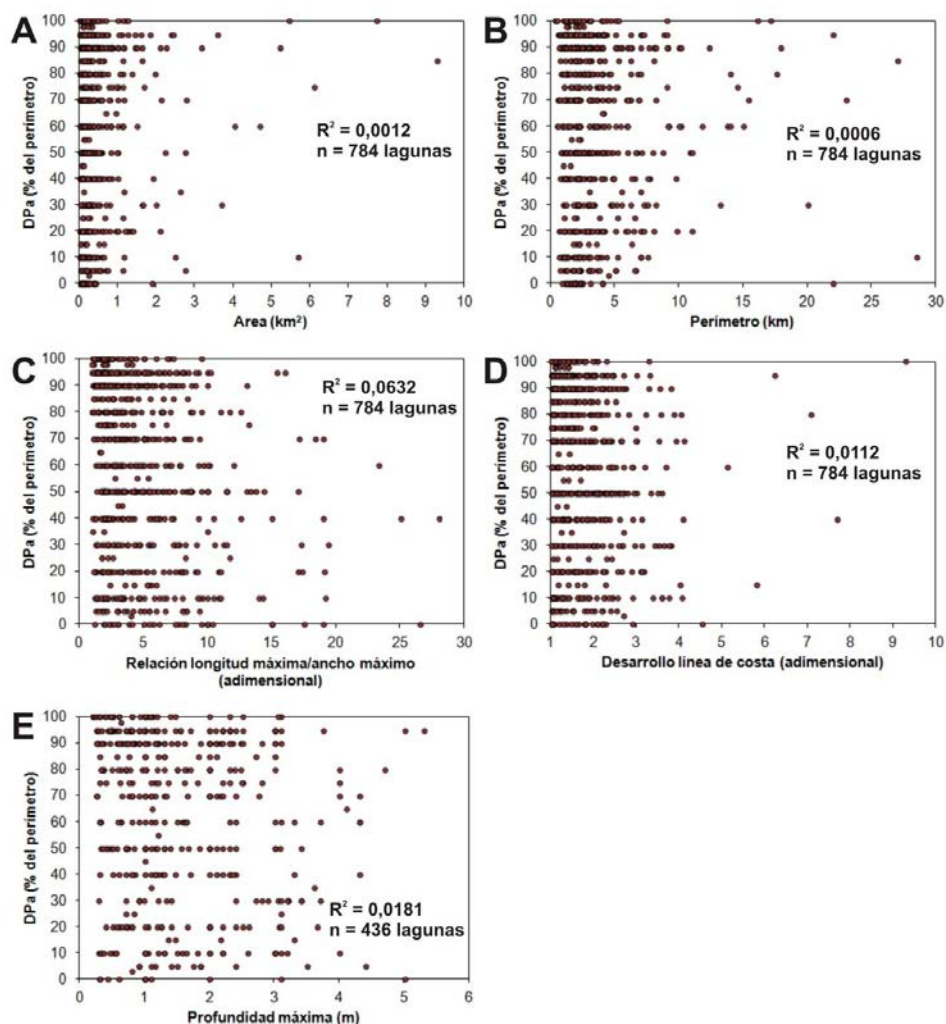


6.2.3.4. Distribución perimetral arbustiva

En lo que respecta a la distribución de arbustos en el perímetro de las lagunas, el análisis de correlación entre esta variable con el área superficial, el

perímetro, la relación longitud máxima/ancho máximo, el desarrollo de la línea de costa y la profundidad máxima, produjo también coeficientes de determinación (R^2) muy bajos (Figura 6.52). Se advierte que la distribución de arbustos perimetral en las lagunas varía entre 0% y 100% del perímetro lagunar para aquellas lagunas con áreas menores a 1 km^2 , con perímetros que tengan hasta 5 km de longitud, con una relación entre longitud máxima/ancho máximo hasta un valor de 10, con el desarrollo de la línea de costa hasta un valor de 3 y con profundidad máxima hasta un poco más de 3 metros (Figura 6.52: A, B, C, D y E). Además, como se indicó anteriormente, la distribución de arbustos en sus perímetros y la cobertura de vegetación acuática en las lagunas no tienen tampoco correlación (Figura 6.37: G).

Figura 6.52: Distribución de la vegetación arbustiva en el perímetro de las lagunas (DPa) en porcentaje del perímetro que ocupan en función del área, perímetro, relación entre la longitud máxima/ancho máximo, desarrollo de la línea de costa y profundidad máxima. R^2 : coeficiente de determinación y n: número de lagunas estudiadas de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



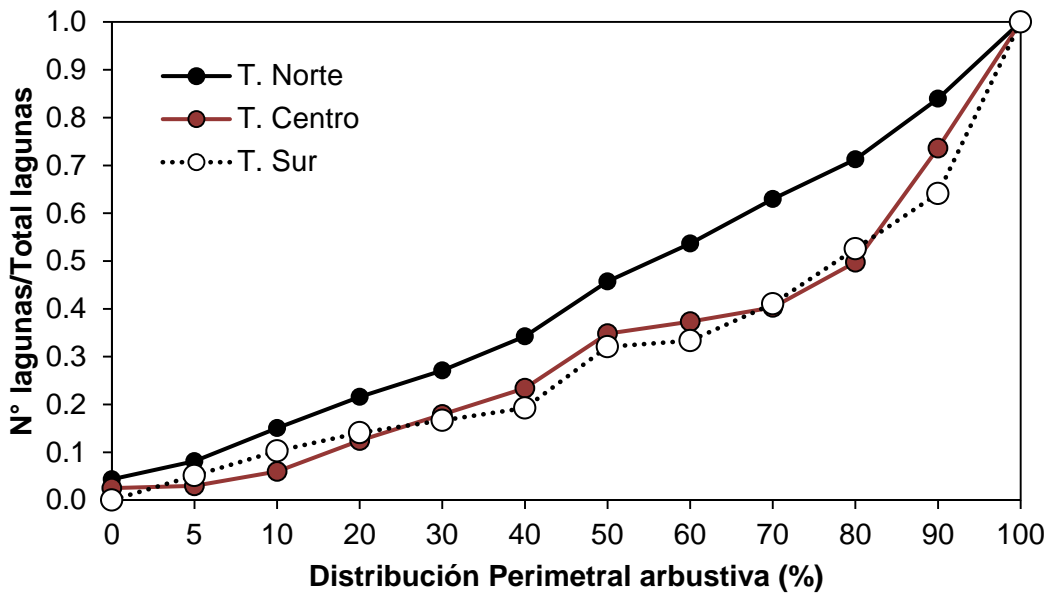
En valores medios, la distribución perimetral de arbustos es 57,0%, 68,9% y 69,1% de Norte a Sur. La distribución de frecuencias (Tabla 6.9) muestra que muy pocas lagunas no tienen vegetación arbustiva en su perímetro y disminuye la cantidad de ellas de Norte a Sur (el 4,4%, 2,5% y ninguna laguna, en los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente). Con la mitad de su perímetro ocupado, la cantidad de lagunas son similares (11,5%, 11,4% y 12,8%, respectivamente) y aumenta la cantidad de lagunas que tienen todo su perímetro ocupado, además de incrementarse de Norte a Sur (16,0%, 26,4% y 35,9%).

Tabla 6.9: Frecuencias (%) de la distribución perimetral de arbustos (%) en cada tramo (Norte, Centro y Sur) del Río Paraná Medio.

Distribución perimetral de arbustos (%)	Tramo Norte (505 lagunas)		Tramo Centro (201 lagunas)		Tramo Sur (78 lagunas)	
	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)	Frecuencia (%)	Frecuencia acumulada (%)
0	4,4	4,4	2,5	2,5	0,0	0,0
5	3,8	8,1	0,5	3,0	5,1	5,1
10	6,9	15,0	3,0	6,0	5,1	10,3
20	6,5	21,6	6,5	12,4	3,8	14,1
30	5,5	27,1	5,5	17,9	2,6	16,7
40	7,1	34,3	5,5	23,4	2,6	19,2
50	11,5	45,7	11,4	34,8	12,8	32,1
60	7,9	53,7	2,5	37,3	1,3	33,3
70	9,3	63,0	3,0	40,3	7,7	41,0
80	8,3	71,3	9,5	49,8	11,5	52,6
90	12,7	84,0	23,9	73,6	11,5	64,1
100	16,0	100,0	26,4	100,0	35,9	100,0

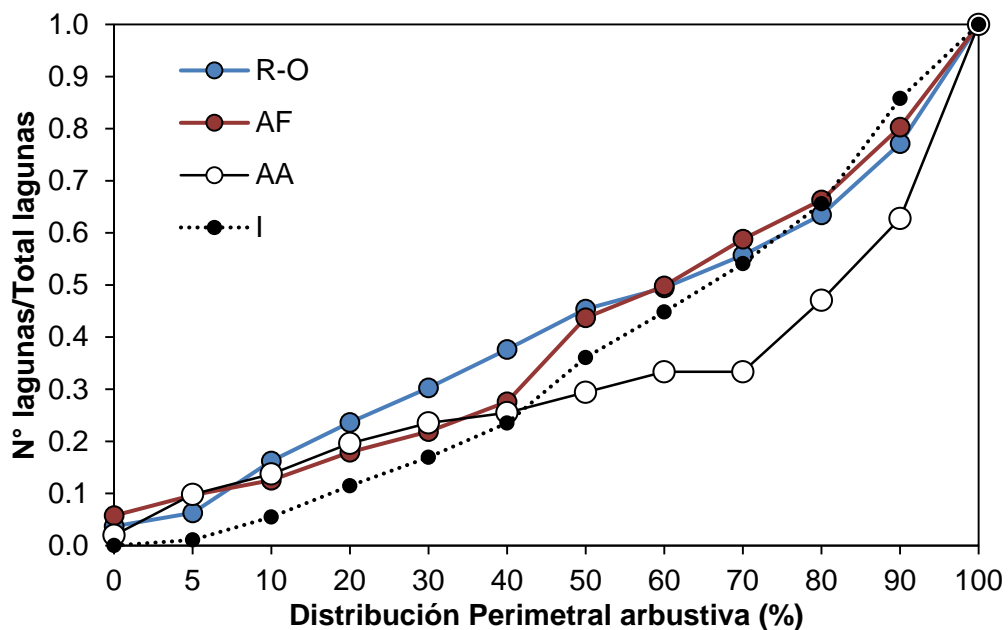
Con relación a la distribución de vegetación arbustiva en cada tramo del Paraná Medio, la presencia de vegetación arbustiva en el perímetro lagunar es pobre en el tramo Norte y más abundante en los tramos Centro y Sur. Por ejemplo, más de la mitad de las lagunas del tramo Norte tienen hasta el 60% de su perímetro con arbustos, mientras la misma ocupación la tienen el 30 % de las lagunas del Centro y Sur (Figura 6.53).

Figura 6.53: Número de lagunas sobre el total de lagunas (784 lagunas) en función de la distribución perimetral de arbustos (% del perímetro) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



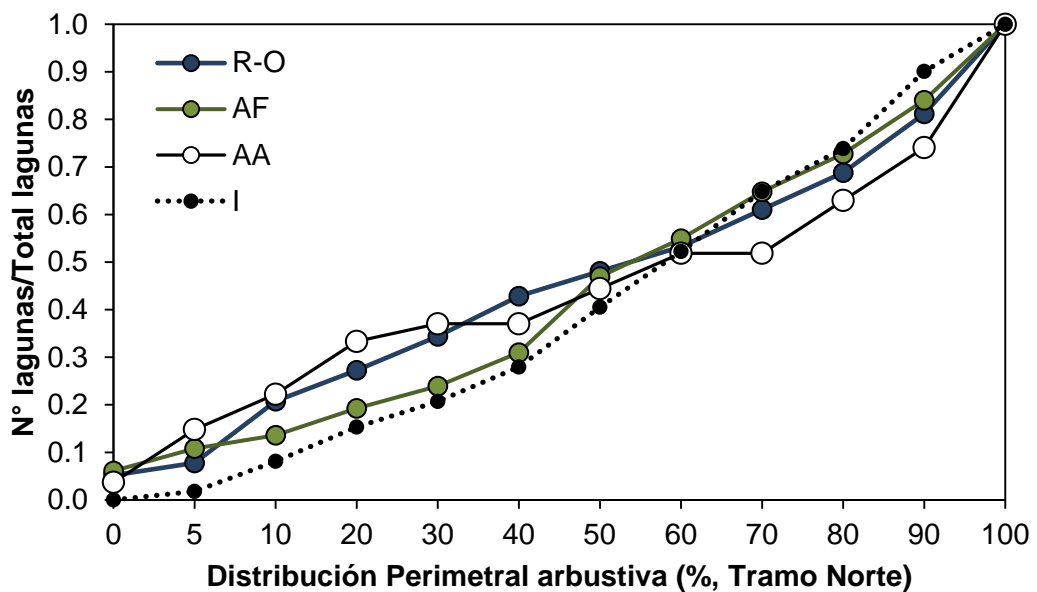
Con relación al crecimiento de vegetación arbustiva perimetral por tipo de forma de laguna (Paira y Drago, 2007) en todo el Paraná Medio, las lagunas Alargadas Anchas son las que más vegetación arbustiva presentan, en comparación con el resto de las formas (Figura 6.54).

Figura 6.54: Número de lagunas sobre el total de lagunas (784 lagunas) en función de la distribución perimetral de arbustos (% del perímetro) por forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



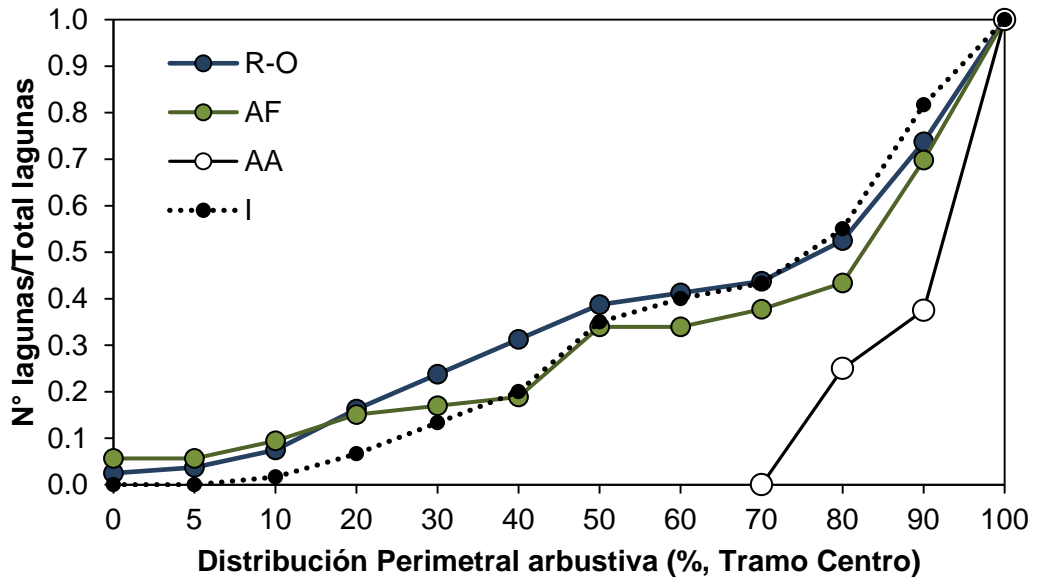
La distribución perimetral de arbustos en el Tramo Norte por forma de laguna (Paira y Drago, 2007) no presenta grandes diferencias entre formas, si bien se pueden destacar que el 20% de ocupación con arbustos, lo tienen la tercera parte de las AA y solo el 15% de las I (Figura 6.55).

Figura 6.55: Número de lagunas sobre el total de lagunas (505 lagunas) en función de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) para el Tramo Norte por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



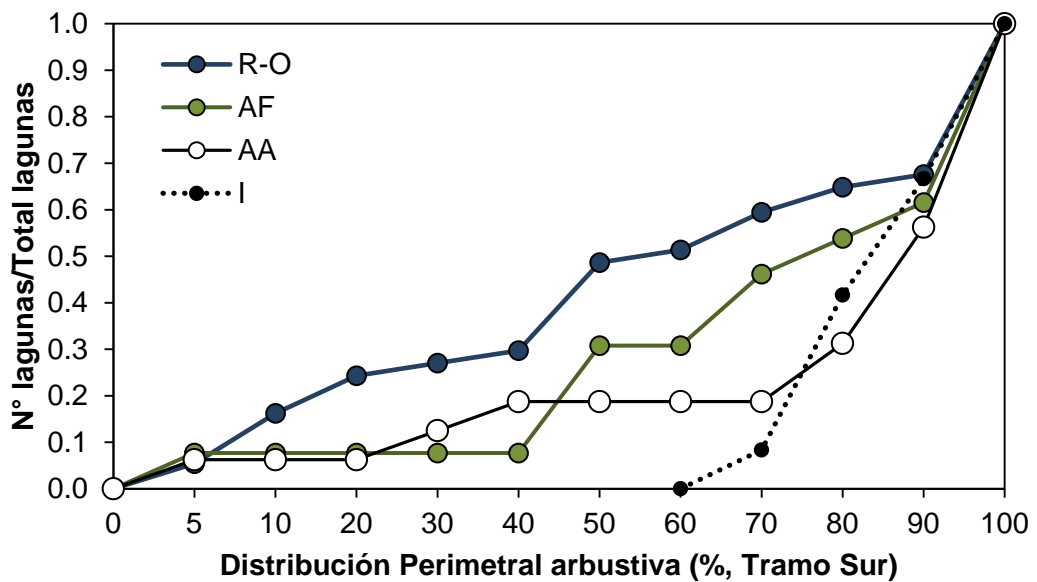
En el tramo Centro, las lagunas R-O, AF e I presentan un similar desarrollo de arbustos en sus perímetros. Las AA prácticamente no tienen arbustos (Figura 6.56).

Figura 6.56: Número de lagunas sobre el total de lagunas (201 lagunas) en función de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) para el Tramo Centro por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



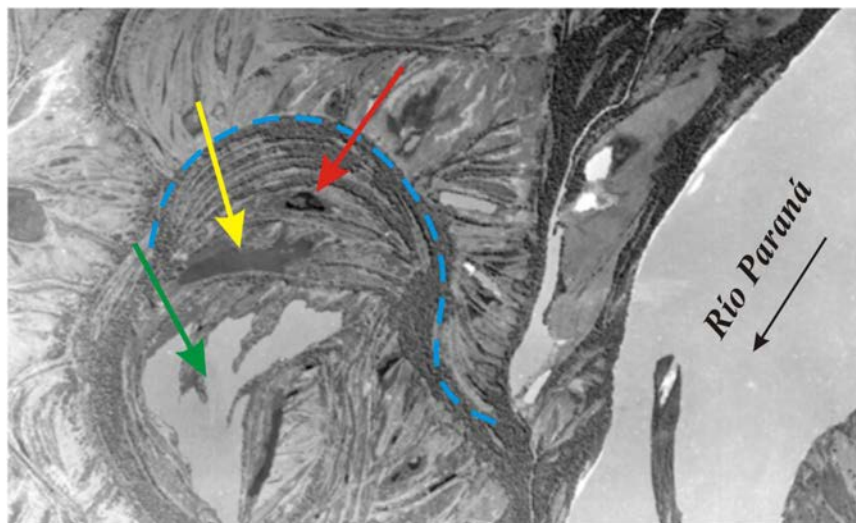
En el tramo Sur, el desarrollo de arbustos es mayor en las lagunas R-O. Las lagunas I también tienen muchos arbustos, tal es así que el 10% de ellas tienen el 70%, el 40% el 80% y el 70% el 90 % de arbustos (Figura 6.57).

Figura 6.57: Número de lagunas sobre el total de lagunas (78 lagunas) en función de la distribución perimetral de vegetación arbustiva (%) para el Tramo Sur por cada forma (R-O: Redonda-Oval, AF: Alargada Fina, AA: Alargada Ancha e I: Irregular).



Como ejemplo de la presencia de árboles formando los bosques en galería y también, los arbustos en la evolución morfológica, donde estos tienen un papel importante actuando como barreras físicas contra las fuertes corrientes de agua durante las fases de inundación (Figura 6.58).

Figura 6.58: Presencia de árboles en el perímetro lagunar comportándose como barrera física contra la corriente del agua en inundaciones (línea de trazos celeste). La flecha roja indica una laguna Alargada Fina, la amarilla y la verde lagunas Irregulares formadas por la anexión de espiras (27°54' S y 58°54' O).



6.2.3.5. El hombre

Uno de los desafíos más difíciles que enfrentan actualmente los ecólogos acuáticos, consiste en separar el efecto de las actividades humanas sobre los cambios naturales en las interacciones entre el cauce y su llanura aluvial. La información que surge de los análisis del origen, evolución morfométrica y tipo de conectividad de los cuerpos de agua de una llanura aluvial, es clave para discernir la naturaleza de esos cambios. Estudios en ríos templados (Drago, 1980, 1981, 1989, 2007; Amoros y Roux, 1988; Baker *et al.*, 1991; Ward y Stanford, 1995; Arscott *et al.*, 2000; Tockner *et al.*, 2000; Pringle, 2001; Amoros y Bornett, 2002; Marchese y Ezcurra de Drago, 1992; Marchese *et al.*, 2002; Drago *et al.*, 2003) y en ríos tropicales (Hamilton y Lewis, 1987; Hamilton *et al.*, 1996; Ezcurra de Drago *et al.*, 2004; Marchese *et al.*, 2005; Wantzen *et al.*, 2005), identifican la dinámica del paisaje fluvial y la conectividad entre el cauce principal y la llanura de inundación como factores claves en el control de la heterogeneidad del hábitat y la diversidad biótica. Sin embargo, se necesitan con

urgencia más estudios, ya que la destrucción del hábitat es muy rápida (Wantzen *et al.*, 2005).

La construcción de diques o albardones laterales para la prevención de inundaciones y/o uso de la llanura para actividades agropecuarias, interrumpe la conexión lítica-lenítica, así como el avance de las aguas de inundación sobre la llanura (desplazamiento del “litoral móvil”). De esta manera, los ciclos anuales de intercambio de aguas, sedimentos y nutrientes, desaparecen o son alterados, lo que origina un cambio en el metabolismo del hidrosistema. Ciertas lagunas, cuya conexión con el río era casi continua, ven disminuido el aporte de aguas fluviales. Así, durante un período largo de aguas bajas, el volumen de estas lagunas disminuye significativamente, quedando grandes áreas de sus fondos descubiertas, las que son invadidas por la vegetación palustre. Este proceso, lleva a una rápida evolución cuyo producto final será un pantano y eventual terrestreización.

Como se ha mencionado en el Capítulo 2, Giacosa *et al.* (2000), detallan los factores más importantes que podrían haber producido cambios en la hidrología de la cuenca del río Paraná (Anderson *et al.*, 1993; Halcrow, 1994; Tucci, 1997). Entre ellos mencionan la deforestación en las cuencas (e.g. el Estado de Paraná en Brasil tenía en el año 1890 una cobertura de vegetación autóctona del 83 % que se redujo a un 15%, 100 años después, debido fundamentalmente a las prácticas de agricultura intensiva); el desarrollo hidroeléctrico, el cual imprime un régimen de caudales mínimos más altos (ver Capítulo 2, Figura 2.10); aumento en magnitud y distribución de las precipitaciones; consecuente incremento en los caudales en las cuencas del Paraná y Alto Paraguay; y el incremento en el desarrollo urbano, principalmente en la cuenca del Paraná Superior.

La afectación aguas abajo de las represas para generación hidroeléctrica puede ser notable tanto para la conectividad horizontal como la vertical. La primera, significa que muchas lagunas no recibirán en tiempo y volumen las aguas fluviales. La segunda implica, fundamentalmente, que mucha superficie de la zona de transición acuática-terrestre, puede no ser inundada en caso de una regulación pronunciada de caudales. Por lo tanto, las tasas de intercambio de materiales bióticos y abióticos entre el río y su llanura, son drásticamente alteradas. Se deduce que una disminución de los picos de crecida debido a los embalses, reducen la *frecuencia*, *extensión* y *duración* de la inundación del ecosistema fluvial. Por el contrario, un aumento de los caudales mínimos, incrementa el tiempo de conexión entre las aguas líticas y leníticas, cambiando así, el hidoperíodo de los ambientes lagunares de la llanura aluvial.

Espínola *et al.* (2014), detallan que 40 represas han sido construidas en la alta cuenca del Río Paraná durante los 40 años anteriores al 2000 (Rodrigues *et al.*, 2005; Agostinho *et al.*, 2007). Como el principal propósito de estas represas es la generación de energía eléctrica, sus reservorios se mantienen casi llenos la mayor parte del tiempo. Este modo de operación minimiza los efectos negativos que resultan de los largos periodos de aguas bajas ya que se liberan descargas mayores que el suministro debido a las precipitaciones, siendo la única limitación el volumen de agua almacenado en el reservorio. Según estimaciones de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina, en el año 2009, la capacidad total de almacenamiento de agua de todas las presas fue de 120.000 hm³, aunque este volumen es importante durante las etapas de aguas bajas, es comparable a una inundación común del Paraná. Por lo tanto, se deduce que la capacidad de las presas para reducir las descargas máximas es muy pequeña debido tanto a su modo operativo como a la magnitud de las inundaciones, es decir, el represado no perturbaría significativamente el pulso de inundación en la cuenca del río Paraná (World Bank 1996; Cacik y Paoli 2000; Paoli y Cacik 2000; Giacosa *et al.*, 2000; Paoli 2011a, b).

La presión antrópica en el paisaje fluvial cercano a la ciudad de Santa Fe

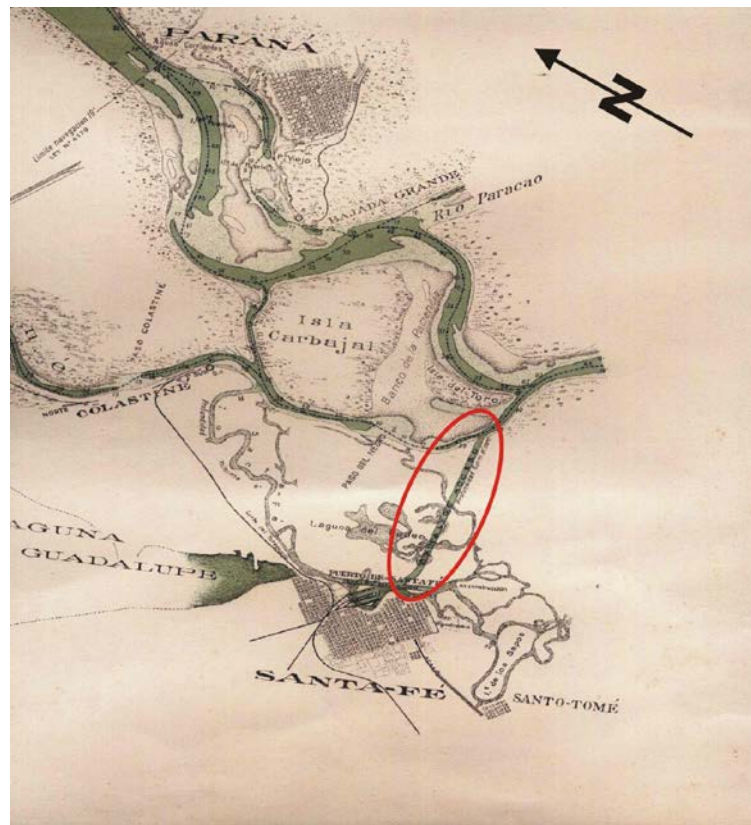
A modo de ejemplo de los impactos humanos sobre una llanura aluvial, a continuación se detallan los cambios ocurridos en torno al eje Santa Fe-Paraná en donde existen obras de infraestructura que han afectado al medio natural. Paoli (1985, 1994) brinda el detalle de estas últimas y cita el progresivo asentamiento de núcleos urbanos en zonas altas tratando de estar cerca del río; al decir de los primeros pobladores: en “buenas tierras y buenas aguas”.

El natural crecimiento de las poblaciones y de la actividad económica trajo aparejada la impostergable necesidad de la vinculación terrestre (vial y ferroviaria) de los principales centros urbanos de la zona, las ciudades de Santa Fe y Paraná. Se imponía, en consecuencia, una conexión cruzando el valle de inundación. Según Cabral (1967), hasta el año 1885 el río escurría sin impedimento ni interferencia alguna, utilizando en sus crecidas toda la sección que le fuera necesaria. La comunicación con la Mesopotamia se viabilizaba totalmente por vía fluvial.

En el año 1886 se construye la primera línea del ferrocarril desde Santa Fe a otros poblados cercanos del departamento La Capital y posteriormente al puerto de ultramar de Santa Fe. Este último se podría citar como una de las primeras grandes presiones antrópicas a comienzos del siglo XX en la llanura aluvial del Río Paraná en

la zona. La construcción del canal de acceso al puerto implicó una significativa incidencia sobre el paisaje natural y su dinámica. Fue construido con métodos rudimentarios en el período 1905-10 con una longitud de unos 8,5 km y una sección trapezoidal de 200 m de ancho y 14 m de profundidad excavada en la planicie aluvial. Ya en esa época se advirtió que durante las crecidas importantes las descargas sobre el valle de inundación del Río Paraná, con sentido general de escurrimiento preponderante de Norte a Sur, es decir perpendicular al canal artificial de acceso, podrían afectar las condiciones de navegabilidad en éste (Figura 6.59).

Figura 6.59: Mapa de principios del Siglo XX con la ubicación de la traza del canal de acceso al puerto de la ciudad de Santa Fe. Fuente: www.histarmar.com.ar.



Es de destacar que el caudal medio del Paraná en la sección Santa Fe-Paraná es de $17.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ con extremos en el orden de los $60.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante las máximas crecientes registradas (Ceirano *et al.*, 2000; Capítulo 2).

La Ruta Nacional N° 168 entre Santa Fe y Paraná (Figura 6.60) es la vía de comunicación más importante, con traza transversal al valle, construida hasta el

momento y remodelada durante los últimos 20 años hasta transformarla en una autovía en el año 2011 en todo su recorrido. Durante las crecidas extraordinarias de los años 1966, 1982-83, 1992 y 1998, se transformó en una suerte de dique de contención, que elevó los niveles de agua de la planicie inundada originando la concentración de importantes caudales en puentes y aliviadores (Ceirano *et al.*, 2000). Esta situación obligó a la voladura de un tramo de la ruta en dos ocasiones (1966 y 1983) y originó el colapso de parte de la infraestructura existente (Costanera de Santa Fe, Puente Colgante, Aliviadores 4 y 6, terraplenes de defensa, etc.).

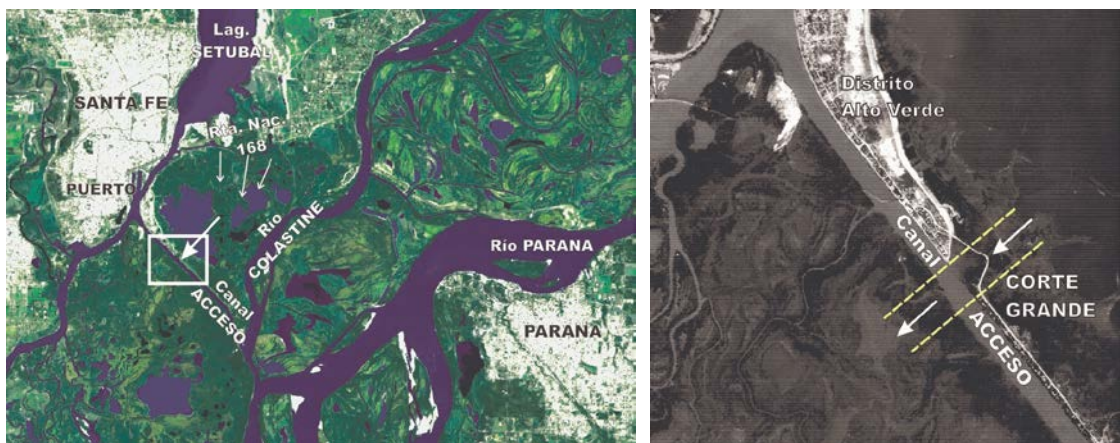
Figura 6.60: Ubicación del nuevo puerto de la ciudad de Santa Fe con los principales accesos viales a construir (en color rojo y amarillo) y existentes (en color blanco). A: Barrio El Pozo, B: Centro Comercial Walmart, C: Ciudad Universitaria y Centro Científico Tecnológico Santa Fe y D: Actual Puerto de Santa Fe. Fuente: Diario El Litoral de Santa Fe (24/10/2016) y anexos de Aldo Paira.



El valle aluvial hacia el este de la ciudad de Santa Fe ha sido progresivamente ocupado por distintos asentamientos urbanos, desde el inicio del siglo pasado (Figura 6.60 para apreciar los cambios y la invasión de su llanura aluvial). Entre los más recientes y significativos cabe citar el Barrio El Pozo, el Centro Comercial Walmart, la Ciudad Universitaria y el Centro Científico Tecnológico Santa Fe. Ramonell (2005), ha

reunido datos sobre estas obras que involucraron la elevación artificial de los terrenos de la planicie aluvial en la zona urbana de Santa Fe. Incluyó el terraplén de la Ruta Provincial N° 1 (tramo La Guardia - A° Leyes), la defensa contra inundación de la Comuna de Arroyo Leyes y Colastiné-Rincón, el terraplén de la Ruta Nacional N° 168 (tramo La Guardia-Santa Fe) y el terraplén de Alto Verde. Determinó un volumen de relleno de alrededor de 16 hm³ con desniveles artificiales de 5 m o más, lo cual representa una superficie de alrededor de 320 hectáreas. La magnitud de estas intervenciones ha incidido en el ambiente natural desencadenando procesos geomorfológicos que no pueden ignorarse. Durante las grandes inundaciones del Paraná en las últimas dos décadas del siglo pasado, gran parte del caudal sobre el valle se concentró hacia un sector del canal de acceso al Puerto de Santa Fe, denominado el Corte Grande (Figura 6.61), donde el flujo es evacuado hacia aguas abajo en forma perpendicular al mismo.

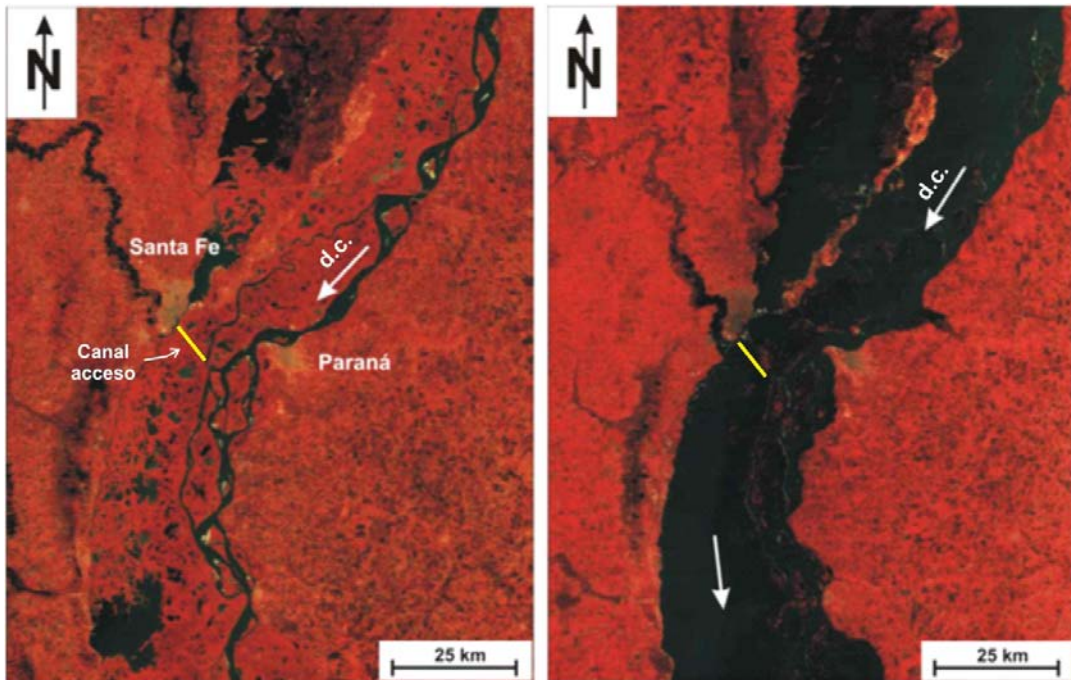
Figura 6.61: Ubicación del corte transversal al canal de acceso del Puerto de Santa Fe provocado por la crecida de 1982-83 (Prendes *et al.*, 2005).



El Corte Grande se generó durante la crecida extraordinaria 1982-1983 (que duró 9 meses con niveles extraordinarios y un año sobre el nivel de desborde medio en la zona: aproximadamente 4,00 m en hidrómetro de Puerto Santa Fe, Figura 6.62) cuando la presión del agua rompió el terraplén, que se había construido ex profeso, para evitar la existencia de corrientes transversales fuertes en el canal (Prendes *et al.*, 2005).

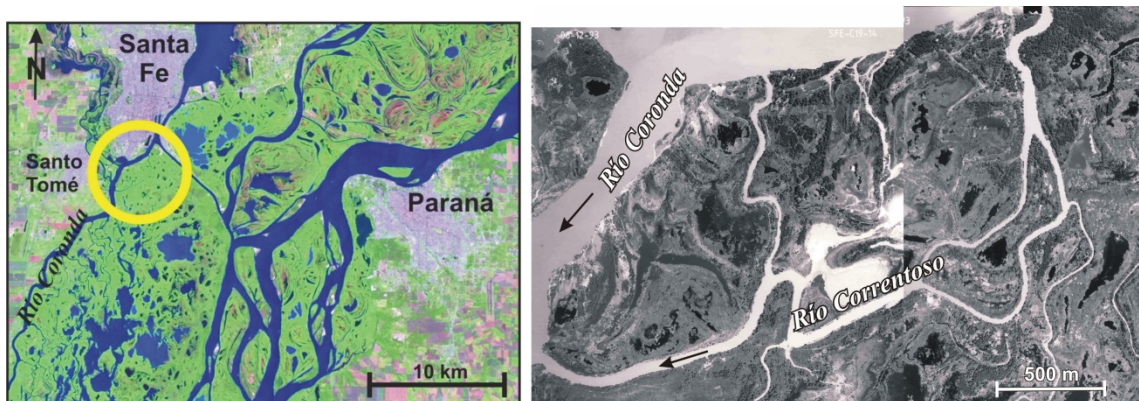
Figura 6.62: Ubicación del Canal de acceso al Puerto de Santa Fe en las imágenes satelitales Landsat del Río Paraná Medio en aguas medias del 8 de noviembre de

1981 (izquierda) y aguas altas del 1 de octubre de 1983 (derecha). La diferencia del nivel hidrométrico entre ambas es de 3,16 metros según el hidrómetro del Puerto de Paraná (Entre Ríos), d.c.: dirección de la corriente del agua.



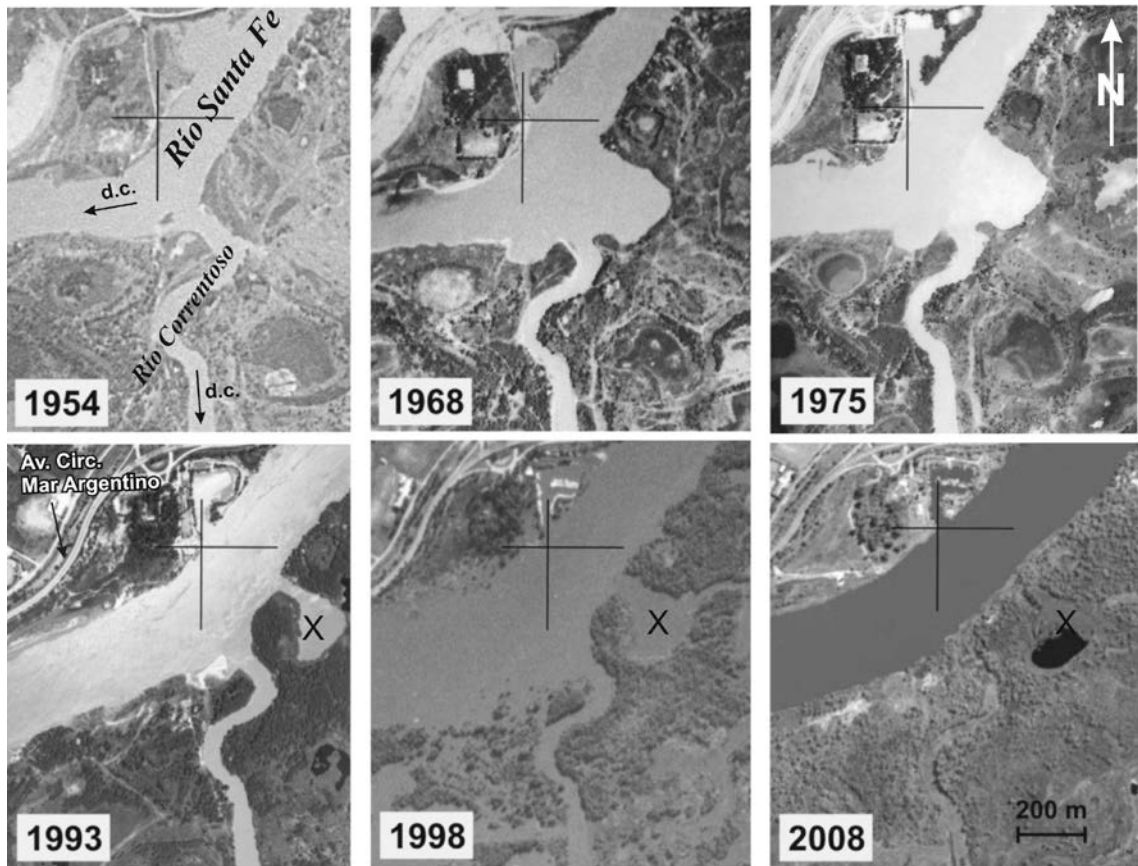
La construcción de otra obra civil en la periferia de la ciudad de Santa Fe fue la Avenida de Circunvalación que produjo afectaciones en una zona de isla ubicada enfrente a la ciudad y por varios kilómetros. Esta afectación morfológica fue en la entrada del Río Correntoso, ubicada enfrente del Club Náutico Sur (Figura 6.63 y 6.64).

Figura 6.63: Ubicación del Río Correntoso (circunferencia amarilla) cuya embocadura se encuentra frente a la ciudad de Santa Fe y su desembocadura frente a la ciudad de Santo Tomé.



Blettler *et al.* (2014) evaluaron mediante un análisis comparativo de fotografías aéreas y satelitales tomadas en 1954, 1968, 1975, 1993, 1998 y 2008 (Figura 6.64), una de esas alteraciones morfológicas no natural. Se comprobó el dragado de sedimentos en la entrada del Río Correntoso desde enero de 1963 hasta noviembre de 1964, debido al cual se extrajeron 1.300.000 m³ de arenas del lecho del río. El propósito de ese dragado fue la realización del terraplén a lo largo de la margen derecha del Río Santa Fe sobre el cual se construyó la Avenida de Circunvalación Mar Argentino. A la vez la obra protegía a la ciudad de las inundaciones en su extremo sur. La carretera de 4,5 km finaliza en el puente sobre el Río Salado que une las ciudades de Santa Fe con Santo Tomé por el oeste. El mencionado dragado originó una gran "bahía artificial" en la entrada del Río Correntoso (véanse las fotografías de 1968 y 1975). Las fotografías de 1993 y 1998 revelan un proceso de sedimentación debido a una evolución morfológica natural de la entrada del río, probablemente acelerada durante las grandes inundaciones debidos a los ENOS de 1982-1983 y 1992. Los autores verificaron que esta evolución morfológica cambió el ángulo de desviación de la entrada de agua y sedimentos desde el Río Santa Fe hacia el Correntoso, provocando una disminución de la profundidad del lecho de este último de aproximadamente 1 metro. Obsérvese también que la curva del Río Santa Fe cambió a través del tiempo, llegando a ser menos pronunciada (ver secuencia completa de imágenes). Por último, la imagen 2008 muestra la entrada del río y el canal completamente atascado por vegetación acuática flotante y arraigada y una laguna aislada remanente de la gran bahía de 1968 con más de la mitad de su superficie cubierta con vegetación acuática que permanecía con conexión directa en 1993 y 1998. Cabe destacar que Blettler *et al.* (2014), finalmente demostraron que todos los cambios señalados debidos a la intervención humana, produjeron una alteración drástica en la estructura de la biota del fondo del Río Correntoso.

Figura 6.64: Secuencia de aerofotografías e imagen satelital de los ríos Santa Fe y Correntoso desde 1954 hasta 2008. Los niveles hidrométricos en el Puerto de Santa Fe son 1954: 3,19 m (promedio anual); 1968: 1,2 m; 1975: 3,42 m; 1993: 3,91 m; 1998: 7,08 m y 2008: 2,6 m. d.c.: dirección de la corriente. La letra "X" señala ubicación de una laguna (remanente de la gran bahía de 1968). Fuente: Blettler *et al.* (2014).



La mano del hombre en el área isleña al sur de Santa Fe, también se verificó, en la creciente actividad ganadera y agropecuaria. Desde la década del '50 predominó la cría de bovinos y en menor medida la de los ovinos, caprinos y equinos (Montagna, *com. pers.* Anexo 1). Hace muchos años que el alquiler de tierras en islas es de bajo costo, lo cual permite el engorde de ganado en estos fértiles ambientes lo cual posibilita afectar las tierras de buena calidad de la llanura chaco-pampeana a la producción de granos con alta rentabilidad.

A modo de referencia, para comprender la magnitud de estas actividades, según la información brindada por Defensa Civil, en marzo de 2007 durante el pico de la creciente de ese año, se evacuaron en el sector de islas de la Provincia de Santa Fe aproximadamente, dos millones de cabezas de ganado bovino. Esta cantidad cuadruplica la correspondiente a la creciente del año 1998 a pesar que la altura hidrométrica de la de 2007 fue 1,32 m menor que la de 1998.

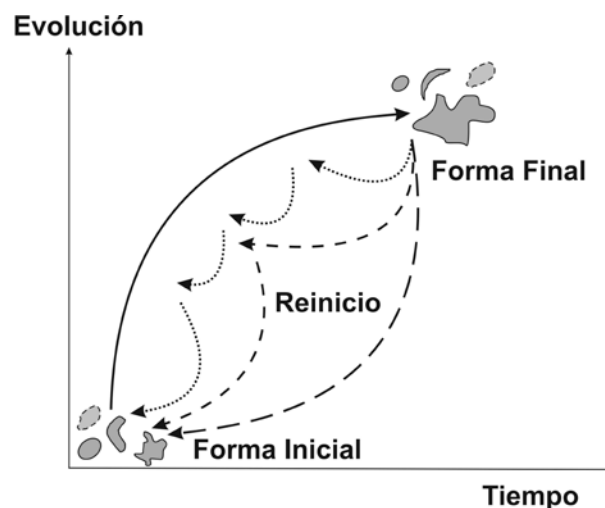
En general las características físicas de las islas son muy favorables para la actividad pecuaria. Los albardones, por ejemplo, o sectores altos y consolidados que bordean a los cursos de agua, poseen árboles de buen porte que el ganado utiliza para protegerse de los soles intensos, para descansar y protegerse del viento e insectos durante la noche (Gardioli, 2008).

Como referencia a otras actividades que se llevan a cabo en islas, en el delta del Paraná, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) informa sobre la explotación de maderas blandas que puede alcanzar en algunos casos las 10.000 a 15.000 toneladas destinadas principalmente a la construcción de cajones, la extracción de paja, de peces en ríos y lagunas, la caza, la apicultura en cuya operación se pueden lograr de 40 a 80 kg por colmena por temporada, el turismo ecológico en islas, las frutas (cítricos, frutos secos) y la agricultura (caña de azúcar y soja). En cuanto a los pobladores permanentes en “zona de islas” propiamente dicha, estos son muy escasos en los alrededores de la ciudad de Santa Fe en la actualidad. Sólo el 0,12% (455 personas) de la población total, según el censo de 2001. Además de esta población se observan pescadores solos o en grupos reducidos en campamentos o viviendas muy precarias ocupadas de manera no permanente y que venden el producto de la pesca en los centros urbanos o a acopiadores.

6.2.4. Factor reinicio

La evolución de un ambiente lenítico puede resultar más o menos rápida hacia un ambiente de pantano y tierra firme, o sea, hacia la “terrestrialización” y posterior senescencia de la laguna, pero también pueden producirse fenómenos de rejuvenecimiento, “reseteo” o “reinicio” de acuerdo a lo que se plantea en la Figura 6.65. Cabe destacar, que la evolución hacia la “terrestrialización” y posterior desaparición del ambiente lenítico, puede verse interrumpido también por un reinicio “parcial” del ambiente por el cual éste no llega a su estado “original” sino a uno intermedio.

Figura 6.65: Factor de reinicio en las lagunas aluviales de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



En el esquema de la Figura 6.65, se ha representado la evolución de una laguna hipotética partiendo de una “forma inicial” y llegando a una “forma final” (línea continua). Esa forma final puede resultar similar, distinta o la terrestreización completa de la laguna. En el proceso de “reinicio”, se puede volver a la “forma inicial” (indicada con línea de trazos larga) o a “formas intermedias” variadas (indicadas con línea de trazos media y puntos).

En función de la presentación de todos los factores incidentes en la evolución de las lagunas aluviales, es importante destacar, que cada uno de los estos, debido a sus características, puede potenciarse o debilitarse, según el grado de incidencia de los otros factores.

6.3. Aplicación del modelo de factores incidentes en la evolución de las lagunas aluviales

Dada la cantidad y diversidad de lagunas en la llanura aluvial del Río Paraná Medio, según lo demostrado en esta Tesis, se analizarán mediante cuatro ejemplos de lagunas con distinta forma (de acuerdo a la clasificación de Paira y Drago, 2007), los diversos procesos evolutivos a los que pueden verse sometidas, aplicando el Modelo de Factores (Factores externos o exógenos, Factores internos o endógenos, Factores morfométricos y bióticos y Factor reinicio; Figura 6.7).

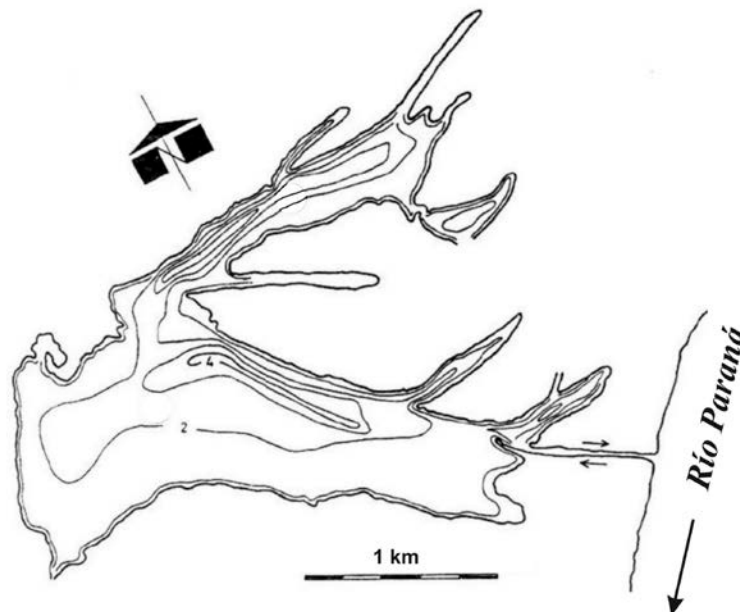
Laguna La Cuarentena: Se encuentra en la unidad Llanura de Bancos, en la Isla Carabajal, es una típica laguna de adosamiento de forma irregular o compuesta, debido a que su génesis se debe al adosamiento de bancos e islas del cauce principal del Paraná (Figura 6.66).

Figura 6.66: Ubicación de la laguna La Cuarentena (31°42' S y 60°38' O).



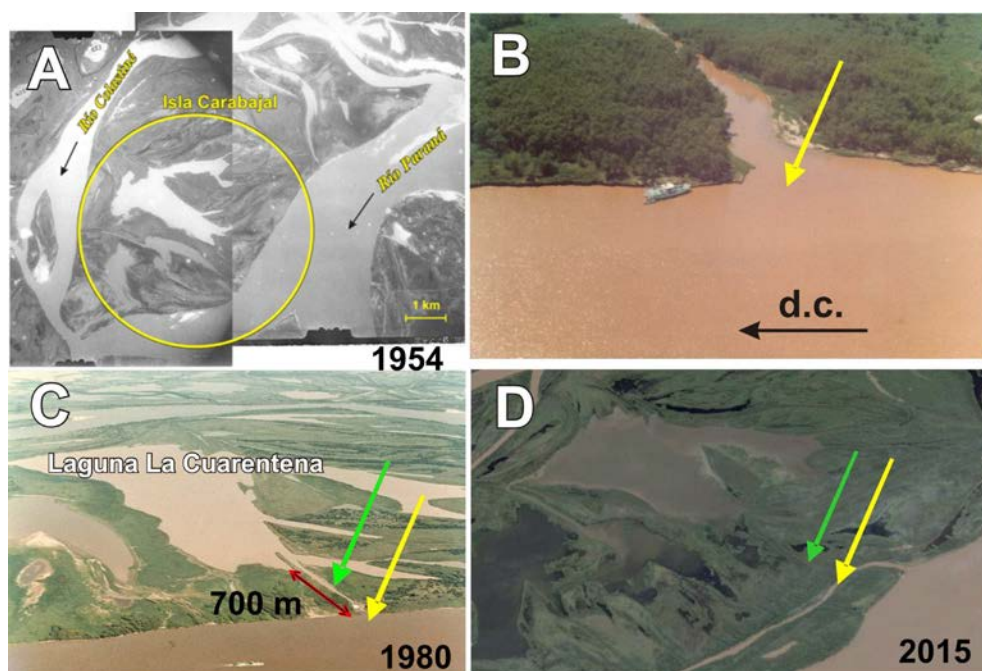
Esta laguna a principios de la década del '80 (6/12/1980), con un nivel hidrométrico de 3,32 m (Puerto Paraná), tenía un área de 2,745 km², un volumen de 4.880.000 m³, una profundidad máxima de 5 m, un perímetro de 20 km, un desarrollo de la línea de costa de 3,4 y un fetch de 2,7 km (Drago y Paira, 1987; Figura 6.67). Tiene una cota aproximada de 12,9 m (IGN) y en su batimetría se pueden observar las cubetas más profundas producto del adosamiento de islas y bancos, similar a la Figura 6.15, pero con una orientación casi perpendicular a la dirección de la corriente del Paraná.

Figura 6.67: Batimetría de la laguna La Cuarentena, equidistancia: 1 m. Las flechas indican la dirección de la corriente del agua. Fuente: Drago (1980).



En la Figura 6.68, se puede apreciar en la evolución de la laguna La Cuarentena como fue el cambio del grado y tipo de conexión. Si bien la escala temporal es de 35 años, en este periodo han sucedido tres de las cuatro mayores crecidas registradas en el Paraná (cronológicamente: 1982-1983, 1992, 1997-1998). Los niveles hidrométricos en el Puerto de Paraná para cada una de ellas fueron: 6,83 m, 6,89 m y 6,72 m respectivamente. Las variaciones de la forma de la laguna desde 1954 (Figura 6.68: A) hasta 1980 (Figura 6.68: C) prácticamente fueron imperceptibles, produciéndose cambios morfológicos después de la crecida de 1982-83 cuando se produjo el adosamiento de un banco que tapó la boca de conexión directa con el Paraná, permaneciendo hasta la actualidad (Figura 6.68 D). Todo este proceso evolutivo, del adosamiento del banco a la Isla Carabajal, produjo cambios en el grado y tipo de conexión que incidieron notablemente en la evolución. En función de lo expuesto, considerando un periodo de tiempo, como por ejemplo desde 1980 a 2006 (en 26 años), la laguna disminuyó un 30,4 % su superficie lagunar (Figura 6.69; Paira y Drago, 2009).

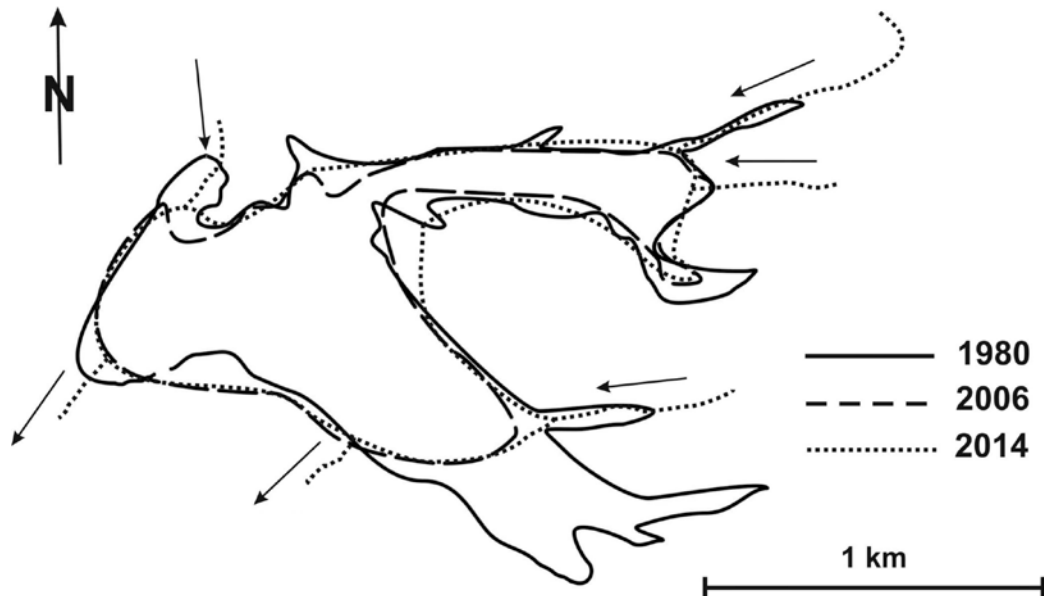
Figura 6.68: Laguna La Cuarentena (Isla Carabajal). La fotografía **A**: año 1954, **B** y **C** fueron tomadas en la misma fecha (1980) y a distinta altura. La imagen **D**: año 2016. La flecha de color verde indica el tipo de conexión a través de un cauce secundario (foto **C**) y en **D** la agradación del mismo. Las flechas de color amarillo en **B**, **C** y **D** indican la ubicación de la boca de conexión. Fotos **B** y **C**: Edmundo Drago.



Grado de conexión: Directa
 Tipo de conexión: Cauce temporario

Grado de conexión: Indirecta
 Tipo de conexión: Agradación de cauce

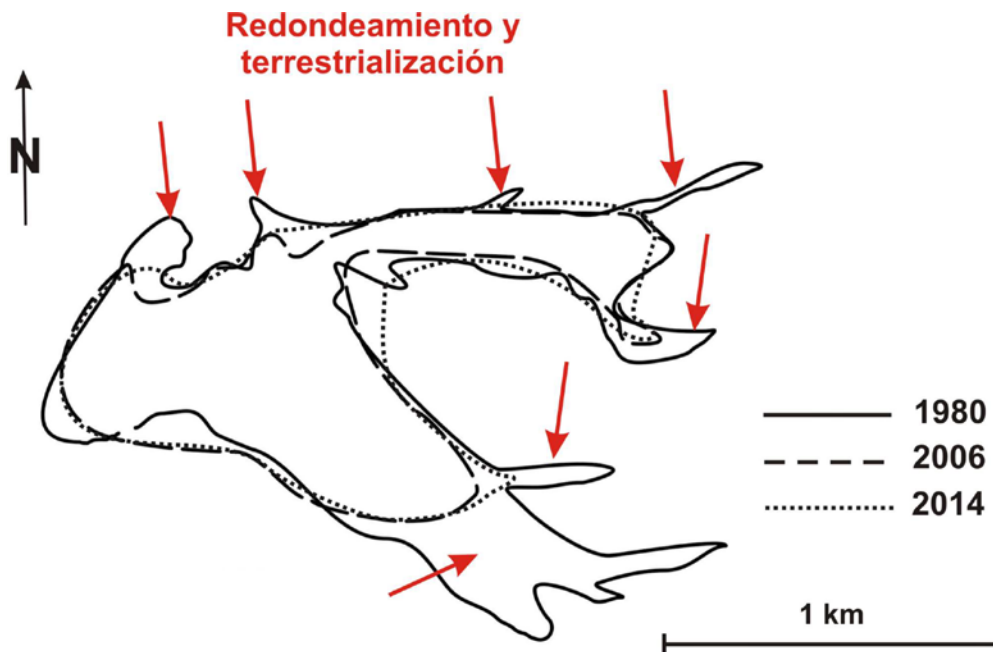
Figura 6.69: Evolución de la Laguna La Cuarentena (Isla Carabajal) considerando los años 1980, 2006 y 2014. La línea continua del perímetro corresponde al año 1980, la línea de trazos al año 2006 y la de puntos para el año 2014. Los perímetros corresponden a una misma altura hidrométrica (altura hidrométrica en aguas bajas a medias del hidrómetro de Paraná). Las flechas indican tributarios y emisarios actuales de la laguna.



Si bien en el año 2014 presenta un perímetro similar al 2006, en todo el período de estudio (1980 a 2014) la laguna está en un claro proceso de redondeamiento y terrestreización. Las lagunas irregulares o compuestas (Paira y Drago, 2006) pueden contener áreas pantanosas desarrolladas en las bahías o sectores de deltas internos y sobre todo en periodos de aislamiento, en donde no hay aporte de agua por inundación y hay un avance de las macrófitas repitiéndose el proceso anterior. Aquí se puede notar la interacción de factores evolutivos externos, internos y morfométricos-bióticos. Comenzando por el factor externo: ingreso reducido de agua, sedimentos y nutrientes (bajante pronunciada), luego el factor interno: conectividad (conexión indirecta) y finalmente, los factores morfológicos y bióticos: cobertura de vegetación acuática (avance de la vegetación), el área (disminución de la superficie lagunar) y el perímetro (menor longitud de su costa), como fueron actuando e interactuando para llegar a la forma final o actual de la laguna La Cuarentena.

En la Figura 6.70, en la laguna La Cuarentena puede observarse varias bahías largas, que fueron las primeras en ser sometidas al proceso de redondeamiento y posterior terrestreización.

Figura 6.70: Proceso de redondeamiento desde 1980 a 2014 por eliminación de las irregularidades de la línea de costa por la vegetación acuática y palustre, sedimentación, etc., en la laguna La Cuarentena (Isla Carabajal). Las flechas rojas indican la ubicación de las bahías que fueron desapareciendo por los procesos de redondeamiento y terrestreización.



Las disparidades que pueden ocurrir en la evolución del perímetro y del área de la superficie de las lagunas, se pueden visualizar comparando La Cuarentena con otra laguna, **La Mira**, de forma redonda-oval, ubicada también en la Isla Carabajal y por consiguiente en la misma unidad geomorfológica (Llanura de Bancos), pero en una zona más elevada de la isla y desde hace más de 70 años aislada. Su cota es de 14,0 m (IGN; Figuras 6.71 y 6.72). Sin tributarios o conexiones con otras lagunas y no presenta relación hidrométrica con el nivel del río (Zilli, 2010). Tiene un área de 0,17 km², volumen de 150.000 m³, profundidad máxima de 3 m, perímetro de 1,82 km, longitud máxima de 0,63 km, ancho máximo de 0,39 km, un fetch de 0,3 km y desarrollo de la línea de costa de 1,23 (Zilli, 2010). La vegetación acuática no cubre toda su superficie lagunar (aumentando en primavera-verano), la vegetación arbórea se encuentra alejada y sobre el albardón del río Tiradero (Zilli, 2010).

Su nombre deriva de una antigua escala hidrométrica utilizada para leer las alturas del río cuando ésta estaba sobre lo que era el Arroyo Tiradero (actual Tiradero Viejo).

Figura 6.71: Ubicación de las lagunas La Cuarentena y La Mira en la Isla Carabajal en

el año 1954.

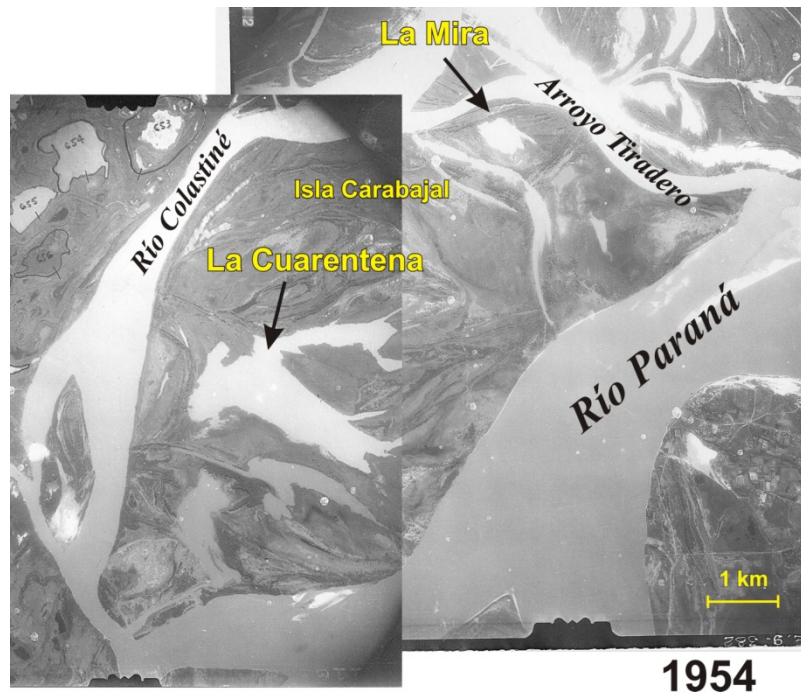
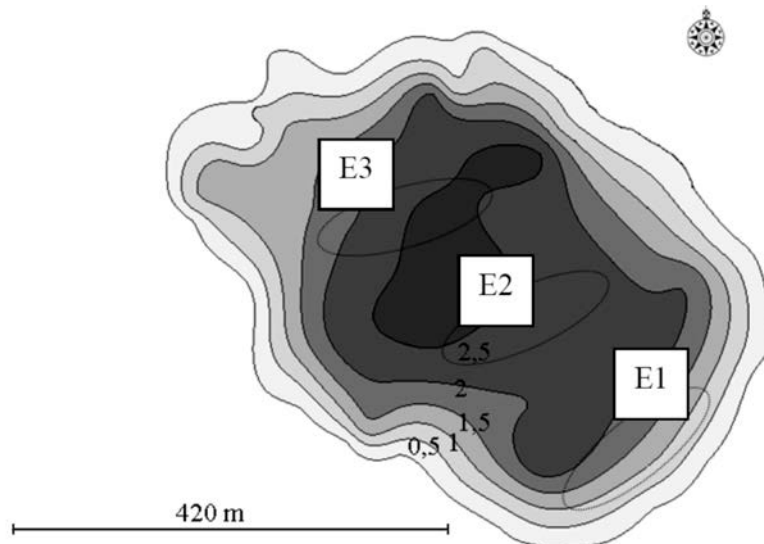


Figura 6.72: Batimetría de la laguna La Mira. Equidistancia 0,5 m, E1, E2 y E3: puntos muestreo de la autora. Fuente: Zilli (2010).



Con respecto a la laguna La Mira, seleccionando 4 capturas de imágenes satelitales comprendidas entre los años 1994 hasta 2000, se puede apreciar que para el periodo 1994 a 1998, se incrementó 1,10 m el nivel hidrométrico, aumentando su área $0,05 \text{ km}^2$, desde 1998 hasta 2000, hubo un descenso del nivel hidrométrico de 3,35 m disminuyendo el área $0,07 \text{ km}^2$ y del año 2000 hasta el 2003 aumentó 1,53 m

el nivel y aumentó el área 0,02 km² (Tabla 6.10).

Seleccionando estas cuatro fechas de captura de imágenes satelitales con las dos lagunas, una conectada (La Cuarentena) y otra aislada (La Mira), se puede observar cómo va aumentando el área en función del nivel hidrométrico (Tabla 6.10 y Figuras 6.73 y 6.74). La Cuarentena muestra los mayores porcentajes en el incremento del área en función del aumento del nivel hidrométrico, llegando hasta el 148,7 % de aumento del área para un incremento de 3,35 m en el nivel hidrométrico. En tanto La Mira, aumenta un 19,8% el área para el mismo incremento del nivel del agua (Figuras 6.73 y 6.74).

Tabla 6.10: Áreas de las lagunas La Cuarentena y La Mira en función del nivel hidrométrico (NH) del Puerto de Paraná.

NH Puerto Paraná	Fecha	Área La Cuarentena (m ²)	Incremento acumulado del área La Cuarentena (%)	Área La Mira (m ²)	Incremento acumulado del área La Mira (%)
1,90	25/01/2000	2.181.818	0	367.816	0
3,43	25/01/2003	2.903.497	33,1	386.179	5,0
4,15	25/02/1994	4.872.093	123,3	388.037	5,5
5,25	19/01/1998	5.427.070	148,7	440.550	19,8

Figura 6.73: Áreas de las lagunas La Cuarentena y La Mira para 4 niveles hidrométricos del río (hidrómetro del Puerto de Paraná, Entre Ríos).

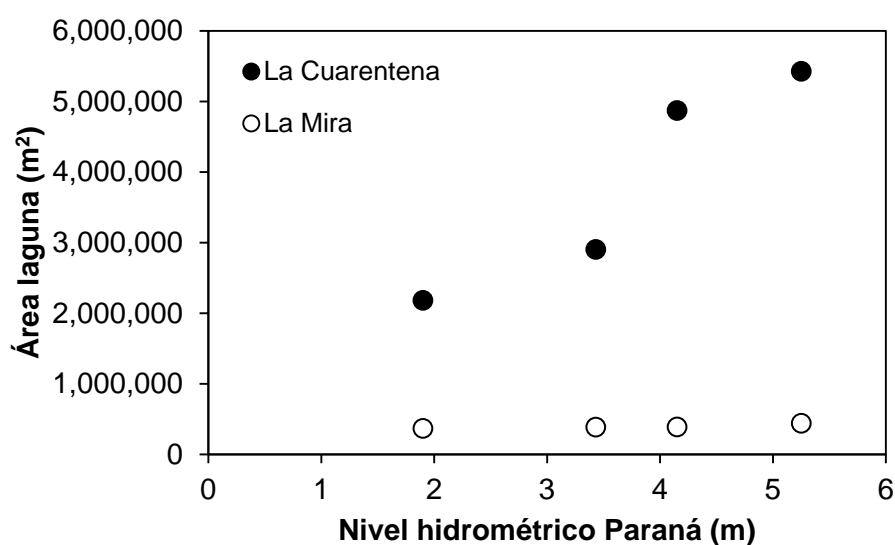
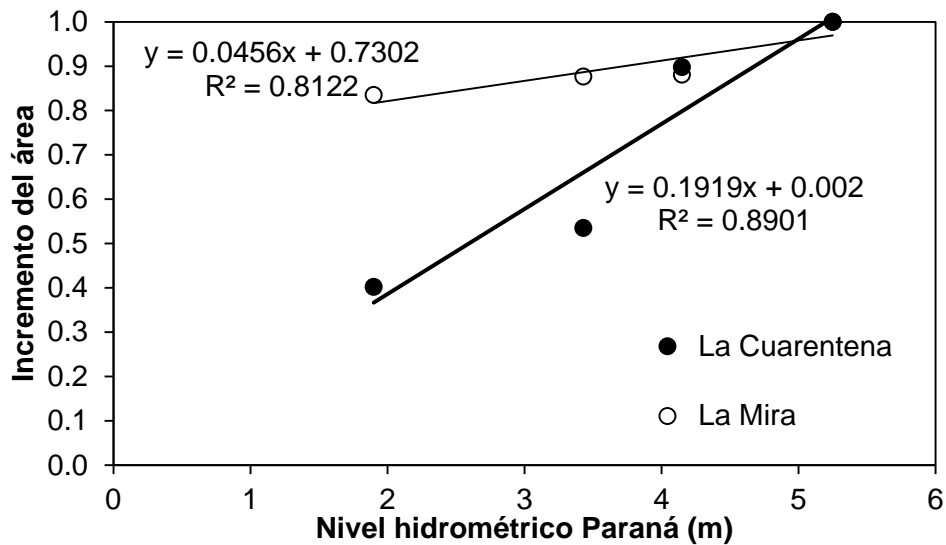


Figura 6.74: Incrementos del área de las lagunas La Cuarentena y La Mira en función del nivel hidrométrico del Puerto de Paraná, con las ecuaciones lineales y el

coeficiente de determinación para cada una de ellas.



Considerando los factores que incidieron en la evolución de las lagunas La Cuarentena y La Mira en los períodos analizados a la luz del modelo conceptual general de evolución presentado en Tabla 6.1 y Figura 6.7, se advierte que:

- Los *Factores externos o exógenos*, en La Cuarentena se centraron fundamentalmente en el importante y permanente ingreso de agua, sedimentos y nutrientes a través de su conexión directa con el cauce principal por lo menos hasta la década del '80. A partir de allí, cabe esperar que los aportes desde los niveles freáticos hayan contribuido a mantener los niveles de agua. Por el contrario, en el caso de La Mira, ha estado aislada todo el periodo de estudio, existiendo la posibilidad que haya mantenido su nivel de agua, casi exclusivamente por el nivel freático.
- Con respecto a los *Factores internos o endógenos*, La Cuarentena, está ubicada dentro de la unidad geomorfológica, con cota o altitud topográfica por debajo de los niveles hidrométricos máximos y muy bajas pendientes longitudinales y transversales dentro de la unidad, con una corta distancia a un cauce principal y al cauce secundario (Río Colastiné), una orientación casi perpendicular al escurrimiento de la corriente del agua, si bien su tributario/emisario principal actualmente se colmató, posee varios de ellos de menores dimensiones, cambiando su grado de conexión directa a indirecta y su tipo de conexión se mantiene en general a través de los cauces temporarios. La Mira, más elevada, si bien se encuentra un poco más alejada del cauce principal, está muy cerca al

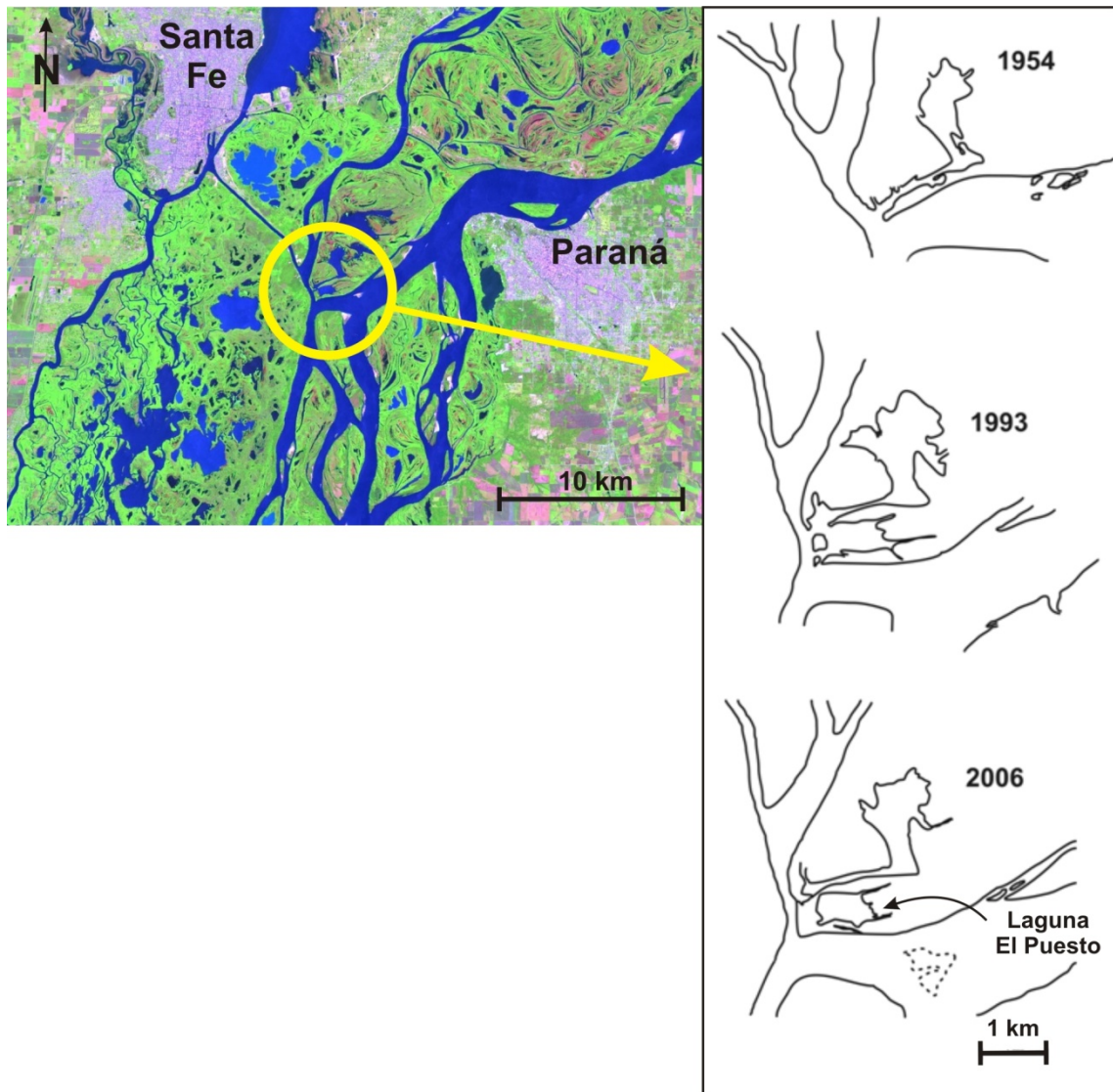
cauce secundario (Río Colastiné), su forma al ser Redonda-oval prácticamente no presenta un eje para determinar orientación y está aislada.

- c. En relación a los *Factores morfométricos y bióticos*, La Cuarentena, debido a su área superficial, esta laguna tiene dimensiones tales como para considerarla importante dentro de la llanura aluvial. La profundidad máxima está muy por encima de la media, por lo que se la puede considerar como una laguna profunda. La cobertura de vegetación acuática siempre se ha desarrollado en bahías internas, numerosas debido a su forma irregular pero, dada su gran superficie (mayor a 2 km²), existe una tendencia a que las macrófitas no cubran toda su área, de acuerdo a los resultados de Figura 6.37. Presenta árboles en una pequeña porción de su perímetro en los albardones residuales sobre la costa noreste, posee mucha vegetación arbustiva y es esperable que la presencia del hombre esté relacionada principalmente con la producción ganadera (“observación personal”). La Mira tiene un superficie pequeña comparada con La Cuarentena, la profundidad máxima también supera a la media pero es un par de metros menos profunda, las macrófitas no cubren su área totalmente. Presenta árboles alejados de su contorno, ubicados sobre el albardón del río Tiradero.
- d. *Factor reinicio*, la laguna La Cuarentena debido a sus cambios morfológicos acusaría reinicios parciales en comparación con La Mira, la cual ha permanecido estable morfológicamente.

En definitiva, lo analizado en (a), (b), (c) y (d), explican los procesos de terrestrialización y redondeamiento, hacia una senescencia parcial en La Cuarentena.

El modelo de evolución también se puede aplicar en el estudio de “nuevas”, relativamente, lagunas aluviales. Muchos de estos cuerpos de agua se generan y evolucionan rápidamente en directa relación con la dinámica hidrogeomorfológica del cauce principal y también desaparecen. Un ejemplo de ellas es el caso de la laguna **El Puesto**, de forma irregular, ubicada también en la Isla Carabajal (al Sur de la misma). Esta laguna se generó luego del año 1954 y evolucionó, presentando en la actualidad períodos con conexión directa e indirecta con el Río Paraná (Figura 6.75).

Figura 6.75: Génesis y evolución de la laguna El Puesto en los años 1954, 1993 y 2006 (Isla Carabajal, 31°43'45" S y 60°39'10" O).



Otro ejemplo en donde se verifican con claridad en efecto varios de los factores que intervienen en los procesos evolutivos descritos, es el caso de la laguna **El Tigre**. Tiene forma de gota, dentro de las redondas-ovaladas, se encuentra ubicada al Sur de la ciudad de Santa Fe en la unidad Deltas de Tributarios, con cota de 13,0 m (IGN), a 10 km del Río Paraná y a 30 m del río Correntoso, un cauce secundario de la planicie en la zona. Tiene un perímetro de 0,74 km y una superficie de 0,03 km² (Figura 6.76).

Figura 6.76: Ubicación de la laguna El Tigre, Santa Fe (31°41' 07" S y 60°42' 52" O).



En el relevamiento batimétrico realizado en el año 1987 se midió una profundidad máxima de 1,61 m (Figura 6.77). Normalmente, permanece aislada gran parte del año hidrológico (aproximadamente más del 71 % del tiempo; Drago, 2007). La laguna sufrió un proceso de avance de la vegetación acuática muy rápido en donde prácticamente al cabo de menos de 19 años se cubrió hasta el 97 % de su superficie. Esta condición cambió en los años sucesivos para encontrarse en la actualidad con una superficie similar a la del '87 (Figura 6.78).

Figura 6.77: Relevamiento batimétrico de la laguna El Tigre, equidistancia 0,50 m. Fuente: Drago y Paira (1987).

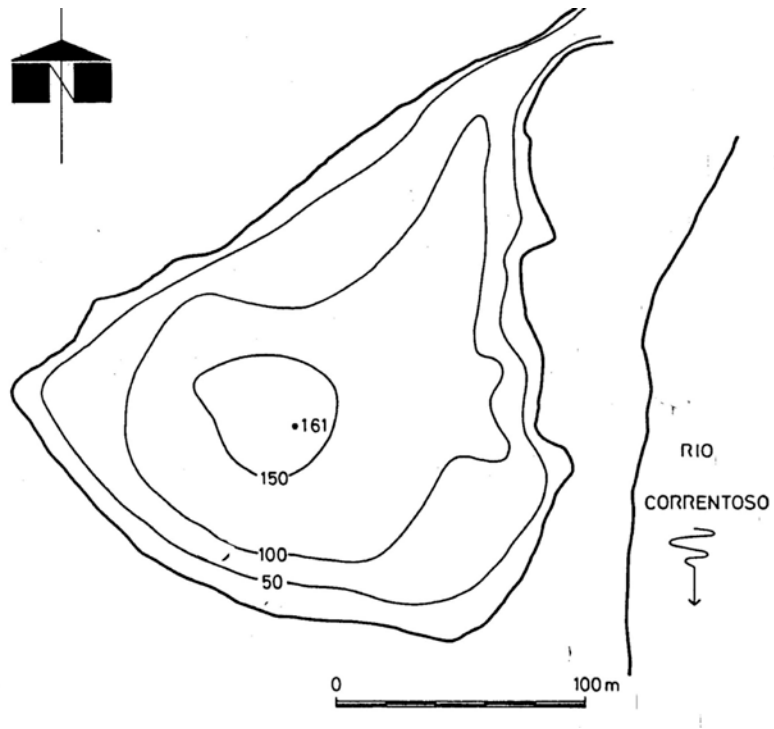
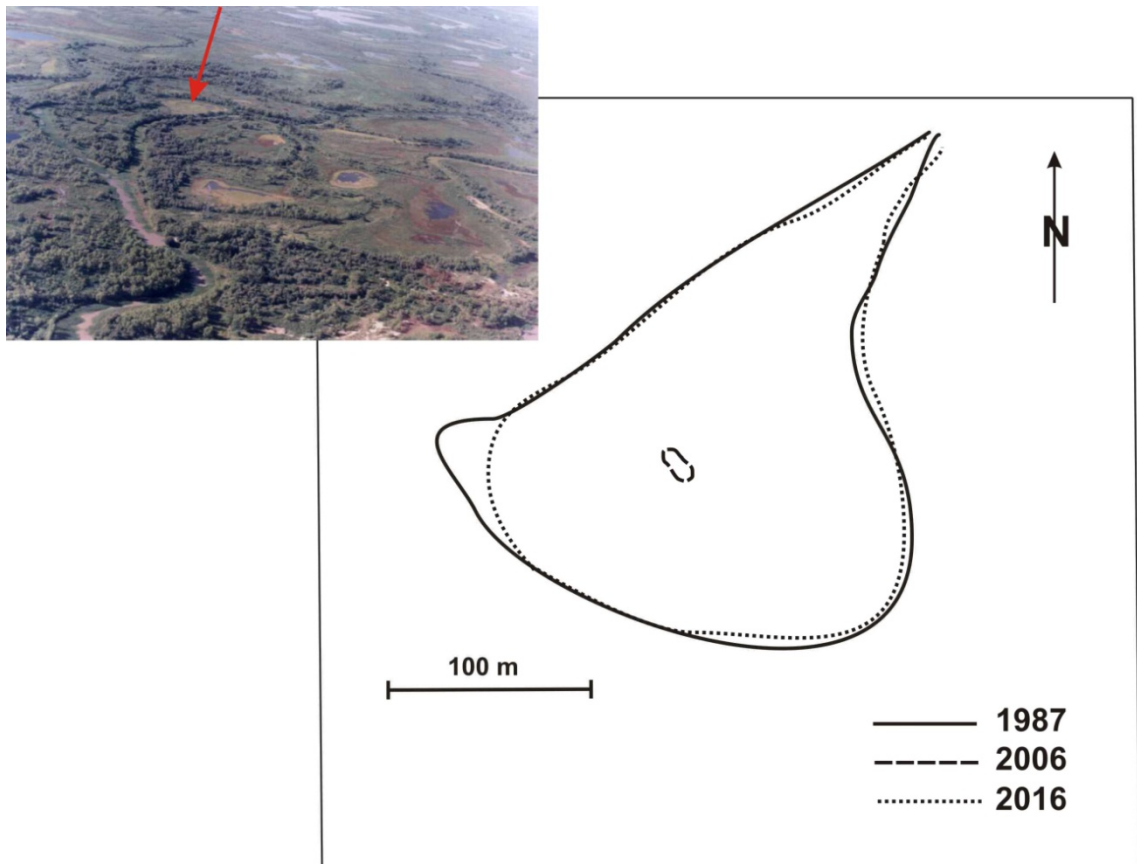


Figura 6.78: Avance y retroceso de la vegetación acuática desde 1987 a 2016 en la laguna El Tigre. La flecha roja indica la ubicación de la laguna. Foto: Aldo Paira.



En los años siguientes a 2006 acontecieron niveles hidrométricos por encima de la fase de ingreso de agua y de inundación en la laguna (12,3 m y 13,2 m s.n.m., respectivamente; Drago, 2007). En el período 2007 a 2016 todos los niveles hidrométricos máximos estuvieron por encima de la cota de la fase de ingreso de agua y, en particular, en 2007, 2009-2010 y 2015-2016, se produjeron 3 grandes inundaciones con duraciones de aproximadamente 60 días como mínimo (año 2007) y 210 días (años 2009-2010) de niveles superiores al de desborde en la zona (Tabla 6.11).

Tabla 6.11: Años y cotas de los niveles hidrométricos máximos en Santa Fe.

Año	Cota del nivel hidrométrico máximo en Santa Fe (m s.n.m.)
2006	12,00
2007	14,30
2008	11,99
2009	13,78
2010	14,42
2011	13,5
2012	12,37
2013	13,61
2014	13,93
2015	13,17
2016	14,63

Analizando en este caso los factores incidentes en la evolución (Tabla 6.1 y Figura 6.7), la laguna tuvo un ingreso de agua (*Factor externo o exógeno*) muy importante, tanto en defecto como en exceso a lo largo del período analizado. Con respecto a los *Factores internos o endógenos*, su ubicación dentro de la unidad geomorfológica con cota por debajo de los niveles hidrométricos máximos y con una corta distancia a un cauce, una orientación paralela al escurrimiento general de la corriente del agua, sin tributario y emisario, con grado de conexión indirecta, obviamente afectada por las precipitaciones locales debidas a la escasa superficie y con la presencia del hombre a través de obras de infraestructura vial. Relacionada a los *Factores morfométricos y bióticos*, esta laguna tiene un área pequeña, con poca profundidad (considerando la media para las lagunas del Paraná), con cobertura de vegetación acuática hasta el 100 % de su superficie, ausencia de árboles en su perímetro lagunar y con la presencia del hombre a través de la cría de ganado. Todos estos factores han influido notablemente para someter a esta laguna primeramente a

un proceso de terrestrialización muy importante, hacia una senescencia casi total en el 2006 interrumpida por el *Factor reinicio* o rejuvenecimiento debido a las últimas inundaciones del 2007 al 2016.

En función de lo examinado en todos los ejemplos brindados, en Tabla 6.12, se resumen cada uno de los factores intervinientes en los diversos procesos evolutivos descritos y su grado de incidencia en ellos.

Tabla 6.12: Factores evolutivos y su aplicación en cuatro lagunas aluviales, La Cuarentena, La Mira, El Puesto y El Tigre. El tilde, equivale a la presencia del factor, con la escala de incidencia: 1 tilde = poca, 2 tildes = media y 3 tildes = mucha. La cruz ausencia o sin afectación por el factor y el signo de pregunta, dudoso o sin información.

	Factores evolutivos	Laguna			
		La Cuarentena	La Mira	El Puesto	El Tigre
Factores externos o exógenos	Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓
	Nivel freático	✓✓	✓✓✓	✓	✓✓
	Neotectónica	?	?	?	?
Factores internos o endógenos	Ubicación en la unidad geomorfológica (cota y pendientes)	✓	✓✓✓	✓	✓
	Distancia al cauce principal y al cauce secundario	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓✓✓
	Orientación de la cubeta lagunar	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓
	Número de tributarios y emisarios	✓✓✓	X	✓✓✓	X
	Grado y tipo de conexión	✓✓✓	X	✓✓✓	X
	Precipitación	✓	✓✓	X	✓✓
Factores morfométricos y bióticos	Área de la superficie lagunar	✓✓	✓	✓	✓
	Profundidad máxima	X	X	X	✓✓
	Cobertura de la vegetación acuática	✓	✓	✓	✓✓✓
	Distribución perimetral de árboles	X	X	X	X
	Distribución perimetral de arbustos	X	✓✓	✓	✓✓
	El hombre	✓✓	X	X	X
Factor reinicio	Factor reinicio	✓✓	X	✓✓	✓✓✓

7. Discusión y Conclusiones

En este último Capítulo se discuten los resultados más significativos surgidos de los tratamientos y análisis realizados en los Capítulos 4, 5 y 6, relacionados con la temática central de este trabajo, esto es, los factores y procesos que inciden en la evolución de las lagunas aluviales en el tramo medio del Río Paraná. En el transcurso de la discusión han surgido conclusiones que se destacan en el escrito. Finalmente se comenta, a la luz del análisis integral realizado aquí, el grado de cumplimiento de las Hipótesis que han guiado esta Tesis.

Comparando la morfometría de las lagunas consideradas en los tres tramos estudiados en relación con los valores medios de los parámetros: *área*, *perímetro*, *longitud máxima*, *fetch*, *ancho máximo*, *profundidad* y *profundidad relativa*, se ha verificado un aumento progresivo en dirección Norte-Sur, principalmente en lo que respecta al área superficial, perímetro, anchos máximo y medio y profundidad máxima (Tabla 7.1).

Tabla 7.1: Valores de la media del *área* (A), *perímetro* (P), *longitud máxima* (l_m), *fetch* (F), *ancho máximo* (a_m), *ancho medio* (a) *profundidad máxima* (z_m), *relación longitud máxima/ancho máximo* (l_m/a_m), *desarrollo de la línea de costa* (D_L) y *profundidad relativa* (z_r).

Tramo	A (km ²)	P (km)	l_m (km)	F (km)	a_m (km)	a (km)	z_m (m)	l_m/a_m	D_L	z_r (%)
Norte	0,29	2,80	1,11	0,94	0,30	0,22	1,42	5,09	1,71	0,27
Centro	0,32	3,21	1,02	0,89	0,38	0,23	1,42	3,87	1,92	0,30
Sur	0,53	3,88	1,39	1,20	0,48	0,34	2,35	3,70	1,69	0,30

Si bien la *profundidad máxima* media es similar en los tramos Norte y Centro, la mediana también muestra un gradiente de Norte a Sur, siendo mucho mayor en las lagunas del tramo Sur (mediana de z_m en tramo Norte = 1,15 m; en tramo Centro = 1,20 m y en tramo Sur = 2,40 m). Además, el 96,0%, 98,5% y el 88,7% de las lagunas en los tramos Norte, Centro y Sur, respectivamente, tienen una profundidad de hasta 3,50 m. Ello indicaría, que las lagunas más profundas se encuentran en el tramo Sur (Tabla 7.1).

Con respecto al índice morfométrico: *relación* l_m/a_m , existe un redondeamiento

de las lagunas de Norte a Sur (Tabla 7.1).

Los valores medios del *desarrollo de la línea de costa*, se corresponden con formas de lagunas similares en los tres tramos, esto es, forma “subrectangular alargadas” según Hutchinson (1957), o “triangulares” según Timms (1992) y Contreras y Paira (2015) o “gotas de agua” según Paira y Drago (2007; Tabla 7.1).

Con respecto a las variables vinculadas con las *condiciones de conectividad hidrológica*, el número medio de “tributarios-emisarios” va en aumento de Norte a Sur, de 0,7 en el Norte, 1,3 en el Centro a 1,8 en el Sur. Los valores de la mediana también crecen de Norte a Sur, con valores de cero, uno y dos tributarios-emisarios por laguna.

Se observa así mismo el incremento hacia aguas abajo de las conexiones directas de las lagunas con un cauce y con otra laguna y con ambos a la vez, como también el decrecimiento de las conexiones indirectas y aisladas. Específicamente, en el tramo Norte solo un 17,0% de los ambientes leníticos poseen una conexión directa permanente a un cauce y un 7,5% a un cauce y laguna. El 83,0% de las lagunas se empiezan a conectar solo cuando el río entra en la fase de desborde o inundación. Si bien, es muy bajo el porcentaje de lagunas aisladas, también decrece de Norte a Sur (2,4%, 1,5% y 0%, respectivamente). Estas últimas, se conectan al resto del sistema sólo durante niveles elevados de inundación. En la Tabla 7.2 se aprecian el crecimiento de los porcentajes respectivos anteriores de conexión en los tramos estudiados.

Tabla 7.2: Porcentaje de lagunas según el tipo de conexión para los distintos tramos del Río Paraná Medio (1.500 lagunas).

Tramo	Conectividad (%)						
	Directa c/cauce	Directa c/laguna	Directa c/cauce y laguna	Indirecta c/cauce	Indirecta c/laguna	Indirecta c/cauce y laguna	Aislada
Norte	17,0	43,0	7,5	83,0	54,7	44,8	2,4
Centro	46,3	40,0	22,6	53,2	58,8	36,3	1,5
Sur	53,8	60,3	32,1	46,2	41,0	15,4	0

Con respecto a la distancia media de las lagunas al cauce principal, se observa una disminución en sus valores desde el tramo Norte hacia el Sur: 9,0 km, 7,8 km y 3,9 km, respectivamente. Sobre este eje principal el 0,7%, el 1,3% y el 1,4% de las lagunas de los tramos Norte, Centro y Sur tienen conexión directa con el río Paraná y el 35,3% de las lagunas del tramo Norte, el 31,1% del Centro y el 55,1% del Sur se

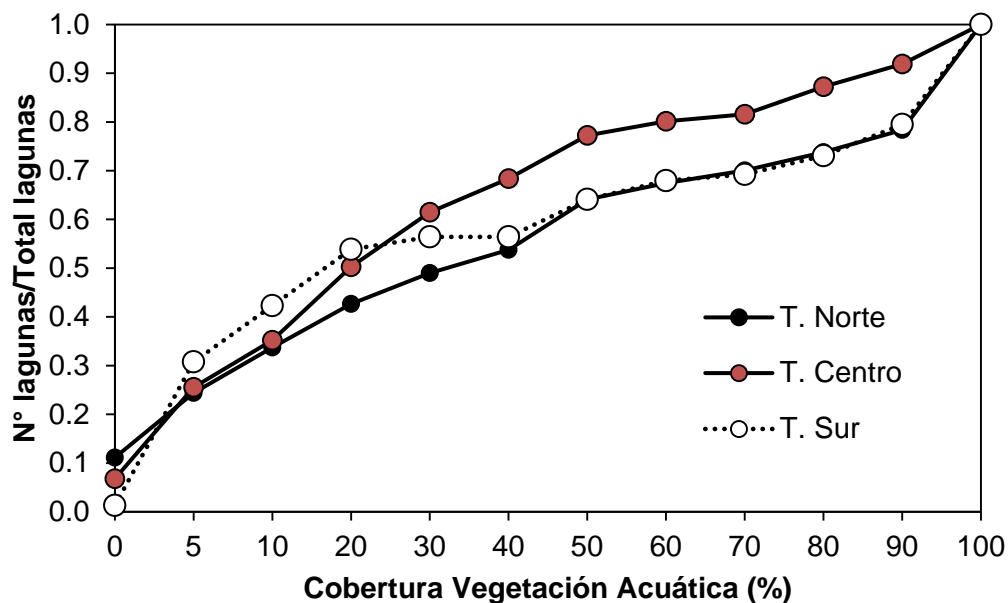
encuentran ubicadas hasta 3 km de éste. Las distancias medias a un cauce secundario también van decreciendo de Norte a Sur: 1,42 km, 1,17 km y 1,09 km, respectivamente. Las lagunas que tienen conexión directa a un cauce secundario, sigue siendo el menor, 1,3% en el tramo Norte, contra el 10,5% Centro y 1,9% para el Sur.

El Río Paraná es el eje fluvial del sistema estudiado en donde las lagunas siempre tienen una ubicación determinada con respecto al mismo, pero con respecto a la distancia de cada laguna con algún cauce secundario de distinta jerarquía se observa que en el tramo Sur el 69,8% de éstas se encuentran a una distancia de hasta 1 km.

Las evidencias presentadas, consideradas en conjunto, en relación con la conectividad hidrológica de las lagunas, conducen a la importante conclusión de que este factor va aumentando en la llanura aluvial del Río Paraná Medio desde su confluencia con el río Paraguay hasta Diamante.

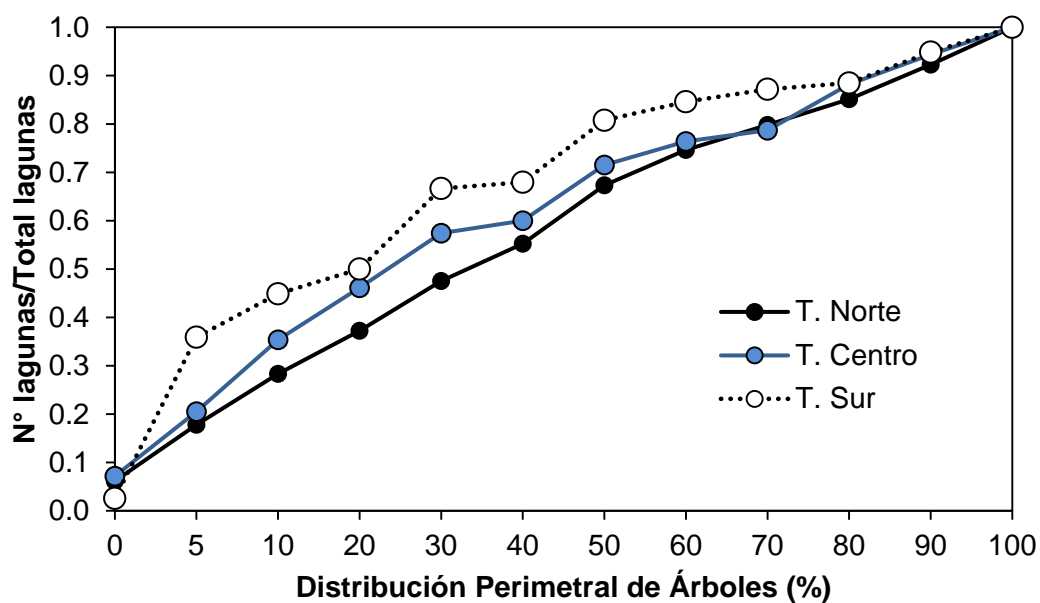
En relación con la cobertura de vegetación acuática y palustre, no existe ninguna correlación lineal entre ella con el área superficial de las lagunas en los tres tramos al igual que con el desarrollo de la línea de costa. En general se ha observado que las lagunas con áreas superficiales menores o iguales a 1 km² (95,0% en el tramo Norte, el 96,2% en el Centro y el 89,7% en el Sur), presentan una cobertura variando entre 0 y 100%. Similar situación se presenta con el desarrollo de la línea de costa en aquellas lagunas con un D_L menor a 4. Dentro de este contexto, sin embargo, en Figura 7.1 (Figura 6.38 en el Capítulo 6), se observa una tendencia de las lagunas del tramo Norte, a tener una mayor cobertura vegetal.

Figura 7.1: Número de lagunas sobre el total de lagunas (1.484 lagunas) en función de la cobertura de vegetación acuática (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



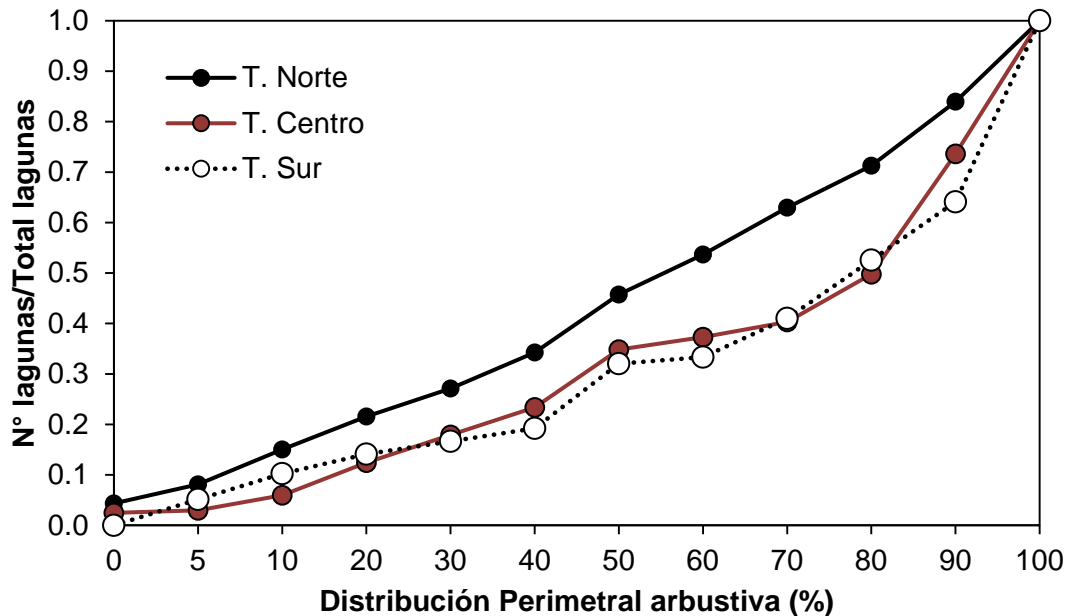
En Figura 7.2 (Figura 6.47 en Capítulo 6), se advierte la existencia de una tendencia clara a disminuir la distribución de árboles en el perímetro de las lagunas desde el tramo Norte al tramo Sur. Las razones de esta tendencia, no son del todo claras, si bien existen evidencias orales acerca de la incidencia de las actividades humanas en la planicie hacia mediados del siglo pasado, especialmente hacia el Sur, donde se asientan los mayores polos urbanos del tramo medio.

Figura 7.2: Número de lagunas sobre el total de lagunas (973 lagunas) en función de la distribución perimetral de árboles (%) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



La tendencia de distribución de arbustos en el perímetro de las lagunas sería opuesta a la de árboles con un aumento de la cobertura de este tipo de vegetación de Norte a Sur (Figura 7.3).

Figura 7.3 (Figura 6.53, en el Capítulo 6): Número de lagunas sobre el total de lagunas (784 lagunas) en función de la distribución perimetral de arbustos (% del perímetro) en cada tramo (Tramos Norte, Centro y Sur) de la llanura aluvial del Río Paraná Medio.



El análisis de las eventuales asociaciones entre la morfometría y morfología de las lagunas aluviales en el tramo medio del Paraná con las unidades geomorfológicas descritas para su llanura de inundación, ha sido realizado siguiendo la clasificación propuesta por Iriondo (2007), dada la cobertura de casi la totalidad del tramo medio en su estudio.

Sobre el total de 1.500 lagunas estudiadas, los tipos de génesis en orden decreciente de predominancia son: de Espiras 34,4%), por Anexión (23,8%), de Expansión Lateral (9,3%), Semilunares (7,5%), Semilunares Múltiples (4,9%), de Cegamiento (4,2%), de Adosamiento (2,8%), de Albardón (1,4%). El resto de formas como las lagunas de Confluencia, Deltaicas, Encadenadas y los Pantanos presentaron porcentajes iguales y menores a 0,3%. La presencia de Lagunas de Espiras se incrementa a 48,9% si se considera a las Lagunas por Anexión que fueron Espiras antes de anexarse, evidenciando una dinámica relacionada a cauces secundarios meandriformes que en su evolución y desarrollo generaron las lagunas de espiras.

En los tramos Norte y Centro, así como también en todo el tramo medio del

Paraná hay una marcada presencia de Lagunas de Espiras con 38,6% y 34,0%, respectivamente. En el tramo Norte, el porcentaje respectivo sería consecuencia de la fuerte migración lateral de cauces activos que tiene la Llanura de Bancos y la existencia de paleocauces meandriformes en la unidad Depósitos Antiguos. En el tramo Centro, también debido a los procesos anteriores, como los propios de la Llanura de Meandros, los abundantes cauces adventicios y tortuosos de la Llanura de Drenaje Impedido y la divagación de cauces tributarios que antiguamente ingresaron en la llanura aluvial del Paraná, actualmente inactivos y sometidos a distintos procesos fluviales de la unidad Deltas de Tributarios, dan cuenta de la predominancia de las lagunas de espiras. En el tramo Sur, las Lagunas de Desborde son las más numerosas con el 28,2%, las Semilunares con 17,9%, las de Anexión (16,7%) y las de Espiras (12,8%). Las Lagunas de Desborde se generan “tapando” las existentes que pudieron haber tenido otro tipo de génesis (de meandro o espira, por ejemplo). Se generan cuando el agua de inundación queda retenida en las zonas bajas limitadas perimetralmente por la acumulación de sedimentos, que se van consolidando con ayuda de la vegetación acuática. En el tramo Sur, la mayor superficie está ocupada por Deltas de Tributarios, unidad que está en un proceso de hundimiento neotectónico (Capítulo 2), provocando la generación del tipo de laguna detallado anteriormente.

Aplicando la clasificación genética de lagunas en función de los procesos fluviales para el Río Amazonas de Latrubesse (2012), en el Río Paraná, el 71,0 % de las lagunas fueron originadas por procesos del desplazamiento lateral de cauces y el 28,9 % por procesos de acreción vertical en el cauce principal y por inundaciones.

Las dos unidades geomorfológicas con mayor superficie lenítica son la Llanura de Drenaje Impedido (32,0%) y Deltas de Tributarios (31,6%). En la primera, si bien el número de lagunas por km² es el más bajo (1,62 lagunas/km²), su superficie presenta grandes zonas ocupadas con agua de lagunas, pantanos y cauces adventicios, activos al comienzo y al final de las inundaciones. La topografía intrincada dificulta el escurrimiento del flujo de agua superficial, con zonas hundidas por *neotectónica*. Aquí, las lagunas tienen la menor *profundidad* media (0,84 m) y la mayor *longitud máxima* (1,33 m). La unidad Deltas de Tributarios, fue originada en un clima seco reciente, cuando los caudales eran menores a los actuales. Actualmente viene siendo modificada por los caudales superiores del Paraná, lo que trajo como consecuencia el aumento de la superficie ocupada por agua; las lagunas presentan en valores medios la mayor *área superficial* (0,75 km²), y los mayores *fetch* (1,19 km), *ancho máximo* (0,64 km) y *profundidad* (1,87 m).

El mayor número de lagunas por km², la presentan las unidades de Llanura de

Meandros (3,02 lagunas/km²) y Depósitos Antiguos (2,95 lagunas/km²). En la Llanura de Meandros, debida a su dinámica, existen tres lagunas de espiras por meandro abandonado, con un máximo de 25, el *área* lagunar media es una de las mayores (0,72 km²), presentan el mayor *perímetro* (3,91 km), uno de los mayores *fetch* (1,09 km), al igual que *ancho máximo* (0,52 km) y *profundidad* (1,60 m; Tabla 7.3). En los Depósitos Antiguos, las lagunas son de pequeñas superficies, con *longitud máxima* media de 1,07 km, *ancho máximo* de 0,33 km (con un *índice de alargamiento* cercano a tres) y con 1,50 m de *profundidad* (Tabla 7.3). En esta unidad más elevada, quedaron relictos topográficos de una fase hidrológica más seca que la actual, durante la cual el Paraná tenía un caudal menor, siendo factible que las lagunas hayan permanecido con las características morfométricas de ese pasado, aunque con pequeñas modificaciones.

Tabla 7.3: Media aritmética de los parámetros morfométricos medidos en las lagunas aluviales del Río Paraná Medio. El *área* (km²), el *perímetro* (km), la *longitud máxima* (km), el *fetch* (km), el *ancho máximo* (km) y la *profundidad máxima* (m); n: número de lagunas analizadas en cada unidad geomorfológica.

Unidad Geomorfológica	Dimensiones morfométricas						n
	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud máxima (km)	Fetch (km)	Ancho máximo (km)	Profundidad máxima (m)	
Llanura de Bancos	0,28	3,01	1,18	0,98	0,30	1,42 (n=156)	304
Llanura de Meandros	0,72	3,91	1,25	1,09	0,52	1,60 (n=42)	64
Llanura Drenaje Impedido	0,52	3,63	1,33	1,09	0,44	0,84 (n=29)	37
Depósitos Antiguos (Terrazas)	0,31	2,71	1,07	0,95	0,33	1,50 (n=87)	147
Deltas de Tributarios	0,75	3,77	1,29	1,19	0,64	1,87 (n=53)	80

El mayor índice de la relación *longitud máxima/ancho máximo* medio, lo poseen las lagunas en la Llanura de Bancos con una media de 5,71. Este valor está indicando la presencia de lagunas más alargadas en Llanura de Bancos. Esta unidad posee una dinámica muy activa por parte del cauce principal, con cauces obstruidos, adosamientos de bancos y cauces menores con migración lateral. Las lagunas en Depósitos Antiguos, también poseen un valor elevado del índice de alargamiento (4,17) debido, principalmente, a la presencia de paleocauces meandriformes. Aquellas

ubicadas en las Llanuras de Meandros y Drenaje Impedido tienen aproximadamente similar índice (3,81 y 3,67, respectivamente), justificado por la predominancia de meandros y su dinámica propia en la primera y numerosos cauces adventicios y tortuosos en la segunda. El menor índice de alargamiento de las lagunas, a pesar de ser de 2,23, indica la presencia de lagunas originadas por geoformas anteriores de cauces que tributaban en la llanura cuando el Paraná presentaba un caudal menor y que actualmente sufrieron importantes modificaciones por cursos meandriformes.

Con respecto a los porcentajes medios de *cobertura de vegetación acuática* media (Tabla 7.4), resultó semejante en cuatro unidades geomorfológicas, no llegando a cubrir la mitad de sus superficies, con excepción de aquellas ubicadas en la unidad Deltas de Tributarios, que presentan casi un tercio ocupado con macrófitas. No obstante, todas las unidades presentan la característica de no tener vegetación como estar totalmente cubiertas, principalmente en las lagunas más pequeñas.

Con relación a la presencia de *árboles en el perímetro* lagunar (Tabla 7.4), las lagunas en la Llanura de Bancos presentan el mayor porcentaje de árboles, con casi la mitad de su contorno ocupado, este hecho, se encuentra relacionado a la dinámica del cauce principal con un mismo patrón de Norte a Sur: bancos, islas y brazos activos con albardones bien consolidados para el crecimiento de árboles.

Las lagunas en la Llanura de Meandros son las que menos *árboles* disponen en su perímetro (Tabla 7.4), posiblemente debido al diseño de su topografía de “bajos y lomadas” en donde son escasos los albardones consolidados para un buen soporte arbóreo. En las cinco unidades geomorfológicas se pueden encontrar, tanto, lagunas sin árboles en su contorno, como totalmente cercados por éstos.

La *vegetación arbustiva* distribuida en el perímetro lagunar (Tabla 7.4), es mayor en los cuerpos de agua ubicados en Llanura de Meandros y Deltas de Tributarios con las tres cuartas partes y la menor presencia de arbustos en lagunas de la Llanura de Bancos con la mitad del perímetro.

Tabla 7.4: Promedios porcentuales de la *cobertura de vegetación acuática*, *distribución perimetral de árboles* y *distribución perimetral de vegetación arbustiva* medidos en las lagunas aluviales del Río Paraná Medio; n: número de lagunas estudiadas en cada unidad geomorfológica.

Unidad Geomorfológica	Cobertura vegetación acuática (%)	Distribución perimetral de árboles (%)	Distribución perimetral arbustiva (%)	n
Llanura de Bancos	40,1	44,5	54,3	304
Llanura de Meandros	39,3	21,5	78,5	64
Llanura Drenaje Impedido	44,7	39,7	60,3	37
Depósitos Antiguos (Terrazas)	45,8	35,1	61,6	147
Deltas de Tributarios	31,4	24,6	74,8	80

Las lagunas ubicadas en Deltas de Tributarios son las que presentan mayor cantidad de *cauces tributarios/emisarios*, con una media aritmética de casi dos por laguna y un máximo de siete, siguiendo las lagunas de la Llanura de Meandros con 1,6 cauces y un máximo de seis. Estos valores indican una alta conectividad en unidades geomorfológicas con dinámica fluvial muy activa. En las unidades Llanura de Drenaje Impedido y Depósitos Antiguos, las lagunas cuentan con un cauce por laguna, posiblemente debido a su topografía baja y conectada solamente con las inundaciones en la primera y a la presencia de paleocauces casi aislados en la segunda. En la Llanura de Bancos las lagunas tienen menos de un tributario/emisario como resultado de su propia génesis, en la dinámica los cauces menores son cegados o en el adosamiento de bancos que se tapa su conexión.

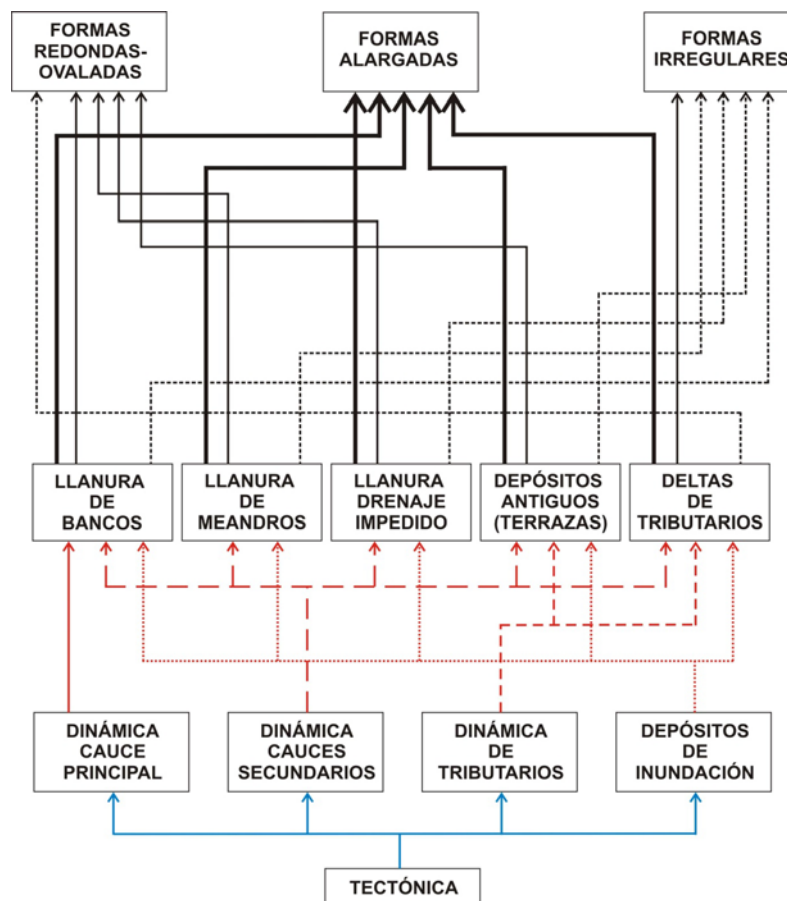
En función de lo planteado en el párrafo relacionado con la cantidad de *tributarios/emisarios*, las lagunas ubicadas en Deltas de Tributarios y en la Llanura de Meandros, presentan altos porcentajes de conexión directa a un cauce y directa con otra laguna y ambas. Las lagunas posicionadas en las Unidades de Llanura de Bancos y Depósitos Antiguos, presentan la menor conectividad a la red fluvial (Tabla 7.5).

Tabla 7.5: Cantidad de lagunas según el tipo de conexión en las distintas unidades geomorfológicas del Río Paraná Medio; n: número de lagunas estudiadas en cada unidad geomorfológica.

Tipo de conexión lagunar (%)	Llanura de Bancos n = 304	Llanura de Meandros n = 64	Llanura Drenaje Impedido n = 37	Depósitos Antiguos (Terrazas) n = 147	Deltas de Tributarios n = 80
Conexión directa a un cauce	25,0	46,9	43,2	25,2	52,5
Conexión directa a una laguna	39,5	56,3	32,4	44,2	53,8
Conexión directa con un cauce y con una laguna	12,2	29,7	16,2	12,2	28,8
Conexión indirecta a un cauce	75,0	53,1	56,8	74,8	47,5
Conexión indirecta a una laguna	59,9	40,6	67,6	55,8	46,3
Conexión indirecta con un cauce y con una laguna	47,4	25,0	40,5	41,5	21,3

En función de lo analizado, se propone un modelo de asociación o de relación a modo de síntesis entre las unidades geomorfológicas, las formas de lagunas aluviales asociadas a cada unidad y la dinámica interviniente (Figura 7.4).

Figura 7.4: Modelo de asociación entre las Unidades Geomorfológicas y las Formas de lagunas aluviales del Río Paraná Medio.

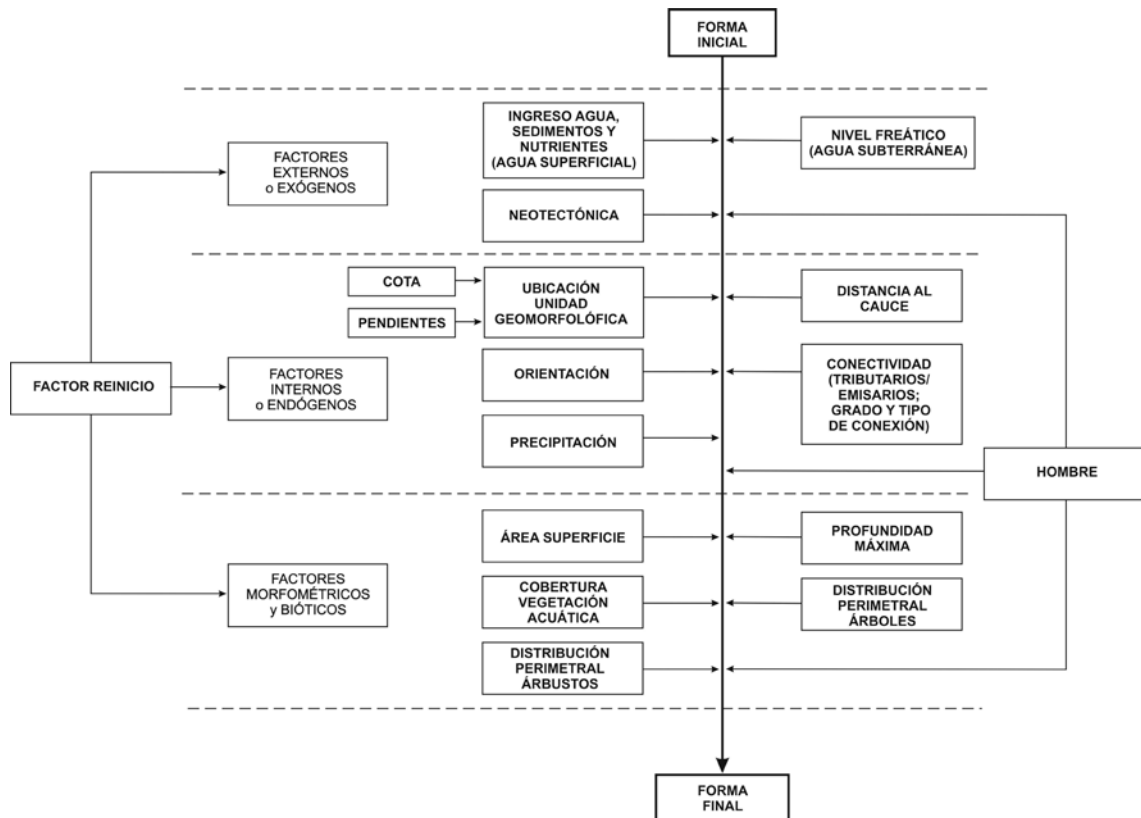


Referencias:

- indican mayor presencia.
- indican mediana presencia.
- indican menor presencia.
- dinámica del cauce principal.
- dinámica de los cauces secundarios.
- dinámica de los cauces tributarios.
- debida a los depósitos de inundación.
- debida a la tectónica.

Dentro del contexto y resultados anteriores, es posible establecer el grupo de factores que pueden condicionar la evolución de las lagunas aluviales. Esa evolución está principalmente relacionada con: el *Ingreso de agua, sedimentos y nutrientes* (*Factores externos o exógenos*); la *Distancia al cauce principal o cauce secundario*, la *Conectividad* y la *Orientación* (*Factores internos o endógenos*); el *Área*, la *Profundidad* y la *Cobertura de vegetación acuática* (*Factores morfométricos y bióticos*) y con el *Factor reinicio*. Se advierte la interrelación entre ellos, e.g. el *ingreso de agua, sedimentos y nutrientes* se facilita con la *cercanía al cauce* más cercano y a través de una *conexión* directa. Lo opuesto en cuanto a cercanía y conectividad dificulta la acción de los principales factores evolutivos. Se propone en base a lo anterior, el siguiente modelo conceptual cualitativo (Figura 7.5) que engloba los procesos dominantes de los cuales depende la evolución de las lagunas:

Figura 7.5 (Figura 6.7, del Capítulo 6): Modelo conceptual de factores *externos o exógenos, internos o endógenos, morfométricos y bióticos* y *reinicio* que inciden en la evolución de las lagunas aluviales del Río Paraná Medio.



Este modelo está sustentado en una serie de ejemplos acerca de la evolución de lagunas de variada forma, tamaño y ubicación de la llanura aluvial del tramo medio del Paraná. Si bien los ejemplos no cubren los 3 tramos estudiados de la llanura, el modelo es de utilidad para comprender los fenómenos y variables de distinta jerarquía involucrados en los cambios de los ambientes leníticos en general.

Los factores mencionados involucran procesos que se verifican a diversas escalas espaciales desde la cuenca misma, en el caso de los *Factores externos o exógenos*, los que se verifican a nivel de la planicie aluvial, esto es, los *Factores internos o endógenos*, hasta los relacionados con el propio ambiente lenítico, como los *Factores morfométricos y bióticos*. Además, es necesario considerar el *Reinicio* como otro factor que puede actuar en los tres niveles de escala.

Cada uno de los factores presentados, debido a sus características, puede potenciar o reducir su importancia, según el grado de incidencia de otros factores o, combinarse con ellos a través de diversas interacciones.

Las lagunas poco profundas y aisladas son las que evolucionan más rápido, siguiendo una tendencia hacia *el redondeamiento* de su forma.

En el proceso evolutivo, el *área lenítica* es el *Factor morfométrico* que mejor

indica junto con la *profundidad*, la existencia de una evolución en curso. En este sentido, las lagunas pequeñas y someras, son las que mayor probabilidad tienen para evolucionar a una forma *redonda-oval* en una escala de tiempo relativamente corta. El *proceso de redondeamiento* puede iniciarse también en lagunas más grandes arealmente, que presentan bahías o zonas litorales menos profundas, donde se inicia y avanza el proceso de pantano. Este último, constituye la fase terminal de las lagunas, anterior a la *terrestrialización*. En síntesis, el área superficial se va contrayendo redondeando sus formas facilitada por el desarrollo de la vegetación acuática, primero, y terrestre después. Esta secuencia también se verifica en las lagunas más pequeñas pero en escalas temporales más cortas.

Las lagunas *irregulares*, pueden evolucionar en escalas de tiempo cortas, si su génesis está relacionada con la anexión de espiras o lagunas *alargadas finas* (espinas de pescado). Esto se debe a que son las menos profundas ya que se originan en zonas topográficamente planas en un relieve de bajos y lomadas con tendencias hacia pantano. En cambio, la evolución de las originadas por adosamientos de bancos e islas, puede ser afectada fuertemente por el *Factor reinicio*. Ello se debe a la dinámica activa del cauce principal coincidentemente con una orientación paralela al escurrimiento de la cubeta lagunar. El reinicio se puede producir en una escala de tiempo instantánea después de una creciente extraordinaria del río.

Las lagunas con *orientación* transversal a los cauces activos, rodeadas con *árboles* y con *vegetación acuática* en su superficie, tienden a tener una evolución más rápida hacia la senescencia y *terrestrialización*. Estas lagunas son las menos afectadas por el *Factor reinicio* y su evolución se produce en una escala temporal más prologada (ver esquema de Figura 6.68 en Capítulo 6 y comentarios respectivos en relación con el *Factor reinicio*).

Finalmente, el *hombre* implica otro factor incidiendo a todo nivel de escala espacial y temporal en la evolución de las lagunas aluviales. La construcción de diques o albardones laterales para la prevención de inundaciones, obras viales, rellenos para urbanizaciones y/o uso de la llanura para actividades agropecuarias, interrumpe la conexión lítica-lenítica, así como el avance de las aguas de inundación sobre la planicie aluvial. De esta manera, los ciclos anuales de intercambio de aguas, sedimentos y nutrientes (los principales factores en la evolución de los ambientes leníticos), desaparecen o son alterados, lo que origina un cambio en el metabolismo del hidrosistema. Por ejemplo, muchas lagunas, cuya conexión con el río era casi continua, pueden ver disminuido por ello, el aporte de aguas fluviales. En consecuencia, durante un período prolongado de aguas bajas, el volumen de estas

lagunas, pueden disminuir significativamente, quedando grandes áreas de sus fondos descubiertas, las que son invadidas por la vegetación palustre. Este proceso, lleva a una rápida evolución cuyo producto final será un pantano y eventual terrestreización producto principalmente del impacto antrópico.

Si bien todas las lagunas aluviales evolucionan hacia una senescencia y/o terrestreización, la dinámica intensa que presentan la diversidad de cauces secundarios de la llanura de inundación, con sus migraciones activas y la propia del cauce principal, con los ciclos de inundaciones y sequías, generan continuamente nuevos ambientes leníticos a través de los procesos ya explicados en esta Tesis, preservando el mosaico de hábitats acuáticos vital para la sostenibilidad del ecosistema.

Dentro de este contexto general, se ha logrado determinar que el área superficial, el perímetro, la profundidad máxima, la distancia al cauce más cercano, el número de tributarios y emisarios y tipos de conexión a los cauces cercanos en las lagunas del tramo Norte son menores que las del Centro y Sur (Tablas 7.1 y 7.2). Todos esos parámetros en general se incrementan en esa dirección de la planicie. Si a esto se agrega el hecho de existir una tendencia de las lagunas del tramo Norte a tener mayores porcentajes de cobertura vegetal (Figura 7.1) y que la mayoría de ellas en ese sector se localizan a cotas más elevadas en la unidad geomorfológica Depósitos Antiguos que predomina en ese tramo, es pertinente inducir que debido a esas evidencias existirían lagunas “más viejas” y por lo tanto más evolucionadas en ese lugar. En síntesis, habría una tendencia evolutiva Norte-Sur hacia ambientes leníticos más jóvenes en esa dirección en la planicie aluvial del tramo medio.

El Modelo conceptual de factores que se propone (Figura 7.5), recoge los conocimientos generados sobre las lagunas aluviales de la gigantesca y compleja llanura aluvial del tramo medio del Río Paraná a lo largo de investigaciones iniciadas por Iriondo y Drago (1972) y continuadas hasta el presente por el segundo autor y el responsable de esta Tesis. En este contexto, el modelo presentado, si bien sustentado en datos adquiridos durante más de 40 años, es abierto debido a que pueden surgir otros factores a considerar actuando a nivel de las diversas escalas espaciales y temporales involucradas. No obstante, dada la sólida base en que está fundado, se estima que puede ser aplicable en investigaciones de las lagunas y su evolución en llanuras aluviales de otros grandes ecosistemas acuáticos del mundo, semejantes al del Paraná.

En definitiva, en función de todo lo expuesto, se considera que la segunda hipótesis de las dos que han guiado esta investigación, no se verifica plenamente, dado que, en todas las unidades geomorfológicas descritas, existe una morfología similar predominante: lagunas Alargadas. Solo en la unidad Deltas de Tributarios, sin dejar de ser esa forma la predominante, su porcentaje es menos significativo en relación con los correspondientes a las otras dos formas, Redondas-ovaladas e Irregulares, debido a procesos evolutivos verificados en los ambientes leníticos de esa unidad.

La primera hipótesis, se comprobó con los dos modelos presentados en Figuras 7.4 y 7.5, sustentados con evidencias suficientes como para ratificar su verosimilitud.

Líneas futuras de investigación

Las nuevas líneas de investigación posibles de iniciar como fruto de los resultados de esta Tesis, deberían centrarse, en el estudio de áreas leníticas más extensas en los tramos Norte y Centro y sus respectivas unidades geomorfológicas en base a los actuales recursos informáticos disponibles para el tratamiento de imágenes. El objetivo, sería la obtención de mayor información de base para ratificar el modelo de evolución de lagunas propuesto aquí contando con mayor número de ambientes de diversas características cuya evolución pueda ser cuantificada a lo largo de escalas temporales lo más extensas posibles.

Anexo

Anexo 1: Cuestionario de la entrevista

Información personal

Nombre y apellido: Edmundo Montagna.

Contacto: Libertad 1280, Santo Tomé (Santa Fe). Teléfono: 0342 4741728

Información de la isla: Islas ubicadas entre los ríos Coronda, Canal de acceso y río Paraná. No se le preguntó sobre la superficie de las islas. Pero sí afirmó que desde el río Coronda hasta el río Paraná.

Situación: Dueño, su padre compró las tierras en el año 1954 a la compañía Santa Catalina cuando él tenía 10 años de edad.

Información hidrológica

¿Cuáles crecientes recuerda que han afectado a las islas?

Las crecientes de los años 1966, 1973, 1982-83 y 1992.

En diferentes alturas hidrométricas, ¿de qué forma afecta a las islas y cuanta superficie?

La creciente de 1983 cubrió toda la isla. Mi padre había plantado eucaliptus en 1960 para después vender la madera, pero en la creciente de 1966 perdió todo.

¿Acontecieron modificaciones en las islas después de las crecientes en la región?

Sí, cambió mucho la isla, hay lagunas que desaparecieron, se abrieron bocas...

Información sobre erosión y sedimentación

¿Las islas sufren procesos de erosión? ¿Dónde?

Sí, actualmente hay arroyos que antes de la creciente del 82-83 no existían. Los arroyos Catarata, Boquerón y otros nuevos.

¿Las islas sufren procesos de sedimentación? ¿Dónde?

Sí, sobre el río Paraná Viejo, la isla se está agrandando con una franja de 700 metros de ancho paralela al río en donde se puede caminar con esta altura hidrométrica con el agua en la cintura. Además en las islas después de las crecientes se deposita unos 10 cm de sedimentos aproximadamente.

¿Ha notado otras variaciones en las islas después de cada creciente? ¿Cuáles?

Antes de la creciente del 82-83, se podía llegar navegando por los arroyos interiores de la isla, por ejemplo, desde la boca del arroyo que está en la ribera de enfrente del Club Náutico Sur (llamado arroyo Negro o Correntoso) hasta el arroyo Catarata (ubicado aguas abajo por el río Coronda y en la costa de enfrente de los Regimientos del Ejército en Santo Tomé), pasando por la laguna Blanca. Hoy ya no se puede realizar esta navegación porque está todo cerrado.

Información sobre las lagunas

¿Las lagunas sufren modificaciones con el paso del tiempo?

Sí, van cambiando.

¿En qué situaciones sufren modificaciones? ¿Cuáles?

Después de las crecientes, hay lagunas que desaparecieron, otras están cada vez más chicas y más playas. La laguna Blanca por ejemplo, antes era inmensa ahora es más pequeña y menos profunda. Las lagunas Acollaradas, del Rey, El León, pasó lo mismo.

Información antrópica

¿El hombre realiza modificaciones en las islas?

Sí, cuando mi padre compró las islas en 1954, esta zona era de invernada, traían ganado vacuno la empresa Santa Catalina en barcos desde Formosa, pasaban el año para engorde, luego se llevaban a los frigoríficos en Rosario para faena y se exportaba. Esta zona de

islas se las llamaba “isla sucia” por las garrapatas. Había corrales y se trataba al ganado contra la garrapata, así que cada 21 días se le hacían baños de inmersión al ganado con distintos productos, desde arsénico al principio hasta fosforados. Antes vivía más gente en las islas. Vivían familias, vivían de la explotación de la madera, tenían su huerta, sus animales de granja, era población estable, en la punta de la isla sobre el río Paraná Viejo, había un puesto sanitario y una escuela. Hoy la isla se alquila para cría de ganado, en los campos de buena calidad se siembra y en las tierras de baja calidad, como la de las islas se cría ganado. También para ganar tierra firme, se hacen “estacadas”, que consiste en tapar y frenar el ingreso de agua a la isla o desviar la corriente del agua, esto hace que se gane terreno para pasturas.

¿Ha notado que el hombre afecta al paisaje isleño? ¿Podría explicarlo?

Sí, por ejemplo antes había muchos árboles típicos de la isla, sobre el albardón del río Coronda, uno podía encontrar ceibos, curupíes, sina sinas, etc., y ahora o no los hay o hay muy pocos.

¿Ha notado variaciones en las poblaciones que viven en las islas?

Sí, antes vivían familias y ahora hay construcciones, ranchos para pasar unos días, para pescar y cazar, pero no ya hay población estable.

Información toponímica

¿Cuáles son los nombres de los ríos y lagunas que existen en las islas?

Arroyos Catarata, El Cordobés (el que se encuentra antes de la curva del río Coronda), hay otros nuevos arroyos, lagunas Blanca, Acollaradas, del Rey, León, río Paraná Viejo.

Bibliografía

- Abrial E., Rabuffetti A.P., Espínola L.A., Amsler M.L., Blettler M.C.M. y Paira A.R. 2014. Influence of hydrological changes on the fish community in two lotic environments of the Middle Paraná Floodplain, Argentina. *Aquatic Ecology* 48: 337-349.
- Agostinho A.A., Gomez L.C. y Ferreira Julio Jr.H. 2003. Relações entre macrófitas acuáticas e fauna de peixes, p. 261–279. En S.M. Thomaz y L.M. Bini (eds.), *Ecología e Manejo de Macrófitas Aquaticas*. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 341 p.
- Agostinho A.A., Pelicice F.M., Petry A.C., Gomes L.C. y Júlio H.F. Jr. 2007. Fish diversity in the upper Paraná River basin: habitats, fisheries, management and conservation. *Ecosyst. Heal Manag.* 10:174–186.
- Alarcón J.J., Szupiany R., Montagnini M.D., Gaudin H., Prendes H.H. y Amsler M.L. 2003. Evaluación del Transporte de Sedimentos en el Tramo Medio del río Paraná, Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Ezeiza.
- Amoros C. y Bornette G. 2002. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Fresh. Biol.* 47: 761-766.
- Amoros C. y Roux A.L. 1988. Interactions between water bodies within the floodplains of large rivers: function and development of connectivity. En: K.F. Schreiber (ed.), *Connectivity in Landscape Ecology*. Münstersche Georg. Arb. 29: 125-130.
- Amsler M.L. 2006. Evolución de la carga de lavado en el Alto Paraná (1968-2004). Incidencia sobre las sedimentaciones en la planicie aluvial del Paraná Medio. *Actas III Congreso Iberoamericano sobre Control de la Erosión y los Sedimentos Buenos Aires*, 15 p.
- Amsler M.L., Blettler M.C.M. y Ezcurra de Drago I. 2009. Influence of hydraulic conditions over dunes on the distribution of the benthic macroinvertebrates in a large sand bed river. *Water Resource Research* 45(6): 1-15.
- Amsler M.L. y Drago E.C. 2009. A review of the suspended sediment budget at the confluence of the Paraná and Paraguay Rivers. *Hydrological Processes* 23: 3230–3235.
- Amsler M.L., Drago E.C. y Paira A.R. 2007. Fluvial Sediments. Main Channel and

- Alluvial Plain Interrelationships. En M.H. Iriondo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer, Berlín, 382 p.
- Amsler M.L. y Gaudin H.E. 2000. Influencia de la superposición de dunas en el transporte de la carga de fondo en el río Paraná. XV Congreso Nacional del Agua. La Plata, Argentina.
- Amsler M.L. y Prendes H.H. 2000. Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados, Tomo 1: pp. 233-306. Paoli C. y M. Schreider (eds.). *El Río Paraná en su Tramo Medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura*. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Amsler M.L., Ramonell C.G. y Toniolo H.A. 2005. Morphologic changes in the Paraná River channel (Argentina) in the light of climate variability during the 20th century. *Geomorphology* 70: 257–278.
- Anderson R.J., Dos Santos N., Díaz H.F. 1993. An analysis of flooding in the Paraná/Paraguay Basin. LATEN Dissemination Note Nº 5. The World Bank. Latin America and the Caribbean Region TD. Washington. USA.
- Arcott D.B., Tockner K. y Ward J.V. 2000. Thermal heterogeneity along a braided floodplain river (Tagliamento River, northeastern Italy). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 2359-2373.
- Ashworth, P.J., Lewin, J., 2012. How do big rivers come to be different? *Earth Sci. Rev.* 114, 84-107.
- Baker J.A., Killgore K.J. y Kasul R.L. 1991. Aquatic habitats and fish communities in the Lower Mississippi River. *Reviews in Aquatic Sciences* 3: 313-356.
- Barzanti J. M. et al. 1991. Características biológicas de las comunidades de peces y geomorfología del valle aluvial del río Paraná. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. Inédito. Monografía presentada a la Fac. de Formación Docente en Ciencias.
- Bayly I.A.E. y Williams W.D. 1973. *Inland Waters and their Ecology*. Longman. Melbourne, 316 p.
- Bayo V., Lallana V.H., Lorenzatti E. y Marta M.C. 1981. Evaluación cuantitativa de la vegetación acuática en islas del valle aluvial del río Paraná Medio. *Ecología* 6: 67-72.

- Bechara J., Varela M.E. y Martínez M.C. 1997. Evaluación empírica de la tasa de consumo de invertebrados y de alimento complementario en juveniles de pacú (*Piaractus mesopotamicus*). *Revista de Ictiología* 5:23-35.
- Bechara J.A., Roux J.P., Sánchez S., Terraes J.C. y Domitrovic H.A. 2000. Fish community variation below Yacyretá Dam (Paraná River, Argentina): the relative contribution of microhabitat, hydrology and limnology. *Acta Limnol. Bras.* 12: 23-38.
- Beltzer A.H. 1991. Aspects of the breeding biology and the death rate of the *Butorides striatus* (Aves: Ardeidae). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral Argentina* 22(1): 35–40.
- Bernabé Poveda M.A. 2002. Cartografía Temática. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 93 p.
- Blettler :C.M., Amsler M.L., Ezcurra de Drago I., Drago E.C., Paira A.R. y Espinola L.A. 2012. Hydrodynamic and morphologic effects on the benthic invertebrate ecology along a meander bend of a large river (Paraguay River, Argentina–Paraguay). *Ecological Engineering* 44: 233– 243.
- Blettler M.C., Amsler M.L., Ezcurra de Drago I., Bullo J., Paira A.R., Drago E.C., Espinola L.A., Fontana L.O., Eberle E., Rodrigues-Capítulo A. 2014. Long-term morphologic and hydrologic effects on benthic invertebrates in a minor channel of the Paraná River floodplain (Argentina). *Ecological Engineering* 67: 134-143.
- Bonetto A.A. 1986. Fish of the Paraná system, p. 573–588. En B.R. Davies y K.F. Walker (eds.), *The ecology of river systems*. W. Junk Publishers, Dordrecht, 793 p.
- Bonetto A. y Orfeo O. 1984. Caracteres sedimentológicos de la carga en suspensión del Río Paraná entre Corrientes y Esquina (Argentina). *Rev. Asoc. Argent. Mineral., Petrol. Sedimentol.* 15(3-4): 51-61.
- Bonetto A.A. y Wais I.R. 1990. El concepto de Pulso de Inundación en la relación a las planicies aluviales del sistema fluvial Paraná-Paraguay. *Ecosur* 16(27): 85-98.
- Cabral S. 1967. La creciente anual 1965-66, Interpretación de sus efectos, Informe de la DNCPVN, Departamento Paraná Medio. Paraná, Argentina.
- Cacik P. y Paoli C. 2000. Determining design hidrologic parameters. En: Paoli C., Schreider M. (eds.). *The Paraná River in its middle reach. Contribution to science and engineering practices in a large lowland river*. Centro de Publicaciones. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina, pp. 11–43.

- Capitanelli, R.G. 1992. Geomorfología: Procesos y formas de modelado de los terrenos. Editorial CEYNE, Buenos Aires.
- Casco S.L., Neiff M, Neiff J.J. 2005 Biodiversidad en ríos del litoral fluvial. Utilidad del software PULSO. In: Temas de la biodiversidad del Litoral fluvial Argentino II. Coordinador F.G. Aceñolaza (ed) INSUGEO, Misceláneas 14:105–120
- Ceirano E., Paoli C. y Schreider M. 2000. Las inundaciones en el área de Santa Fe. Interpretación de sus efectos y simulación de los subsistemas Leyes-Setúbal y ruta nacional 168-Alto Verde, Capítulo 11, p. 239-301. En C. Paoli y M. Schreider (eds.), "El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura", Tomo 2. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, 301 p.
- Chow V.T. 1959. Open-Channel Hydraulics. Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd. 680 p.
- Chow V.T., Maidment D.R. y Mays L.W. 1998. Hidrología Aplicada. Mc Graw-Hill Interamericana, Colombia, 584 p.
- Clark M.I., Clark D.B. y Roberts D.A. 2004. Small-footprint lidar estimation of subcanopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape. Remote Sensing of Environment, 91(1), 68–89.
- Cole G.A. 1983. "Textbook of limnology". 3rd. Edition. The C.V. Mosby Company. St. Louis. Toronto-London, 405 p.
- Cole G.A. 1988. Manual de Limnología. Hemisferio Sur, Buenos Aires, 405 p.
- Contreras F.I. y Paira A.R. 2015. Comparación morfométrica entre lagunas de la planicie aluvial del río Paraná Medio y La Lomada Norte (Corrientes, Argentina). Cuadernos de Geografía, Revista Colombiana de Geografía, Vol. 24(1): 61-71, Bogotá.
- Cooke R.U.y Doornkamp J.C. 1978. Geomorphology in Environmental Management. Oxford, Oxford University Press.
- Cordiviola de Yuan E., Oldani N., Oliveros O. y Pignalberi C. 1984. Aspectos limnológicos de ambientes próximos a la ciudad de Santa Fe (Paraná Medio): poblaciones de peces ligadas a la vegetación. Neotrópica, 30:127-139.
- Cota R. 1963. Influencia sobre el río Paraná del material sólido transportado por el río Bermejo. Comisión Nacional del Río Bermejo. Publ. 92 EH. Buenos Aires.

- del Barco D.M. 1990. Alimentación de *Salminus maxillosus* Valenciennes 1840, en distintos ambientes de la Provincia de Santa fe (Pisces, Characidae). Rev. Asoc. Cien. Nat. Litoral 21(2): 156–166.
- Cristina I.M. 2006. Evolución de los niveles del Río Paraná. XIV Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM 2006. Universidad Estadual de Campinas, Sao Pablo, Brasil.
- DHGyA. 1983. Caracterización hidráulica del río Paraná y sus tributarios en el Litoral. Tercer Informe de Avance, No. 021/83. Departamento de Hidrología General y Aplicada, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Dollfus O. 1983. El Espacio Geográfico. Oikos-Tau S.A. Barcelona.
- Drago E.C. 1972. Relevamiento batimétrico y notas morfológicas del lago Mascardi (Río Negro). Fundación Bariloche, Departamento de Recursos Naturales y Energía, 12 p.
- Drago E.C. 1973. Caracterización de la llanura aluvial del Paraná Medio y de sus cuerpos de agua. Boletín Paranaense de Geoci. 31: 31-44. Curitiba, Brasil.
- Drago E.C. 1975. Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del río Paraguay Inferior. Asoc. Geol. Arg. Rev. Tomo XXX(3): 217-222.
- Drago E.C. 1976. Origen y clasificación de ambientes leníticos en llanuras aluviales. Rev. Asoc. Cienc. Nat. Lit., 7: 123-137.
- Drago E.C. 1977. Erosión y sedimentación en un tramo de cauce del río Paraná Medio (República Argentina). Asoc. Geol. Argentina, Revista, 32: 277-290.
- Drago E.C. 1980. Aspectos limnológicos de ambientes próximos a la ciudad de Santa Fe (Paraná Medio): Comportamiento hidrológico y sólidos suspendidos. Ecología 5: 31-48.
- Drago E.C. 1981. Grados de conexión y fases hidrológicas en ambientes leníticos de la llanura aluvial del río Paraná (Argentina). Ecología 6: 27-33.
- Drago E.C. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná. VI: Temperatura del agua. Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral 15: 79-82.
- Drago E. C. 1989. Morphological and hydrological characteristics of the floodplain ponds of the Middle Paraná River (Argentina). Rev. Hydrobiol. Trop. 22 (3): 183-190.
- Drago E.C. 1990(a). Geomorphology of large alluvial rivers: Lower Paraguay and

- Middle Paraná. *Interciencia* 15: 378-387.
- Drago E.C. 1990(b). Hydrological and geomorphological characteristics of the hydrosystem of the Middle Paraná River. *Acta Limnol. Brasil.* Vol. III: 907-930.
- Drago E.C. 2007. The Physical Dynamics of the River-Lake Floodplain System. p. 83-122. En M.H. Iriondo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer, Berlín, 382 p.
- Drago E.C. y Amsler M.L. 1988. Suspended sediment at a cross section of the Middle Paraná River: concentration, granulometry and influence of the main tributaries (pp. 381-396). *Sediment Budget (Proceedings of the Porto Alegre Symposium)*, IAHS Publ. No. 174, Porto Alegre, Brasil.
- Drago E.C., Amsler M.L. 1998. Bed sediment characteristics in the Paraná and Paraguay Rivers. *Water International* 23, 174–183.
- Drago E.C., Amsler M.L. y Paira A.R. 2014. Crecimiento aguas arriba de bancos de arena e islas en el río Paraná. *Aqua-LAC* Vol. 6 (1): 1-7.
- Drago E.C. y Paira A.R. 1987. Temperature and heat budget in a floodplain pond of the Middle Paraná River (Argentina). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 18(2): 105-228.
- Drago E.C., Ezcurra de Drago I., Oliveros O. y Paira A. 2003. Aquatic habitats, fish and invertebrate assemblages of the Middle Paraná River. *Amazoniana* 17: 291-341.
- Drago E., Paira A., Loteste A., Ezcurra de Drago I., Marchese M., Parma M. y Rossi L. 1999. Ecohydrology of the Aquatic Habitats in the Middle Paraná River. *International Symposium – Hydrological and Geochemical processes in Large river basins*. UNESCO, Manaus, Brasil.
- Drago E.C., Paira A.R. y Wantzen K.M. 2008(a). Channel-floodplain geomorphology and connectivity of the Lower Paraguay hydrosystem. *Ecohydrology & Hydrobiology* 8(1): 31-48.
- Drago E.C. y Vasallo M. 1980. Campaña limnológica “Keratella I” en el río Paraná Medio: Características físicas y químicas del río y ambientes leníticos asociados. *Ecología Argentina* 4:45–54.
- Drago E.C., Wantzen K.M. y Paira A.R. 2008(b). The Lower Paraguay river-floodplain habitats in the context of the Fluvial Hydrosystem Approach. *Ecohydrology & Hydrobiology* 8(1): 49-66.

- Dudgeon D., Arthington A.H., Gessner M.O., Kawabata Z.I., Knowler D.J., Leveque C., Naiman R.J., Prieur-Richard A.H., Soto D., Stiassny M.L.J. y Sullivan C.A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81: 163-183.
- Ellis T.J. y Woitowich W.A. 1989. An Overview of the Use of remote Sensing for the Study of Rivers and River Systems, p: 98-109. En D.P. Dodge (ed.), *Proceedings of the International Large River Symposium*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106.
- Espínola L.A., Amsler M.L., Paira A.R., Drago E.E., Blettler M.C.M. y Agostinho A.A. 2014. Effects of decadal changes in the hydrological regime of the middle reach of the Paraná River (Argentina) on fish densities. *Environmental Biology of Fishes* 97 (7): 757-771.
- Espínola L.A., Rabuffetti A.P., Abrial E., Amsler M.L., Blettler M.C.A., Paira A.R., Simoes N.R y Santos L.N. 2016. Response of fish assemblage structure to changing flood and flow pulses in a large subtropical river. *Mar Freshwater Res* [serial on the internet]. <http://dx.doi.org/10.1071/MF15141>
- Ezcurra de Drago I., Marchese M. y Wantzen K.M. 2004. Benthos of a large neotropical river: spatial patterns and species assemblages in the Lower Paraguay and its floodplains. *Arch. Hydrobiol.* 160: 347-374.
- Ezcurra de Drago I., Marchese M. y Montalto L. 2007. Benthic Invertebrates, p. 251-275. En M.H. Iriondo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer, Berlín, 382 p.
- Fairbridge R.W., (ed.). 1968. *The Encyclopedia of Geomorphology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Vol. III. Reinhold Book Corporation. New York, 1295 p.
- FICH. 1997a. Análisis de la evolución de los principales parámetros hidráulico-morfológicos que podrían influir sobre el comportamiento futuro de la obra de protección del Túnel Subfluvial Hernandarias. Informe Final. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL, Santa Fe, Argentina.
- FICH. 1997b. Estudio de prefactibilidad para la navegación en el tramo Puerto Paraná- Puerto Iguazú del río Paraná y del río Paraguay hasta Asunción. Informe Final. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL, Santa Fe, Argentina.
- Fritschy B. A. 1997. Las fisonomías vegetales de las islas de cauce del río Paraná, en un sector de su tramo medio. *Contribuciones científicas. Congreso Nac. de Geografía. LVIII Semana de Geografía GAEA* p: 391-403. Corrientes.

- Gamarra D. 2014. Cartografía de ocupación del suelo de la Isla La Rinconada, San Javier. Trabajo Final de Carrera. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL), Santa Fe.
- Gamarra D., Paira A. y Graciani S. 2015. Cartografía Ambiental de la Isla La Rinconada (Santa Fe). V Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas. Neuquén, 23 al 26 setiembre.
- García de Emiliani M.O. 1997. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river–floodplain lake system (Paraná River, Argentina). *Hydrobiologia* 357:1–15.
- García N.O. y Vargas W.M. 1998. The temporal climatic variability in the Río de La Plata Basin Displayed by the rivers Discharges. *Climatic Change* 38(3): 359-379.
- Gardiol M.R. 2008. Impacto das grandes enchentes na estrutura fundiária da planície aluvial do Rio Paraná, na Argentina. Tesis de Doctorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, SC, Brasil.
- Giacosa R., Paoli C. y Cacik P. 2000. Conocimiento del régimen hidrológico. En: Paoli C. y Schreider M. (eds.). El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, pp. 69–103.
- Grootjans A.P., Adema E.B., Bleuten W., Joostn H., Madaras M. y Janakova M. 2006. Hydrological landscape setting of base-rich fen mires and fen meadows: an overview. *Applied Vegetation Science* 9: 175-184.
- Häkanson L. 1981. A manual on lake morphometry. Springer Verlag, Berlín.
- Halcrow & Ptners. 1994. Estudio de regulación del valle aluvial de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el control de las inundaciones. Informe Final. Anexo B: Hidrología.
- Hamilton S.K. y Lewis W.M. Jr. 1987. Causes of seasonality in the chemistry of a lake on the Orinoco River floodplain, Venezuela. *Limnol. Oceanog.* 32: 1277-1290.
- Hamilton S.K. y Lewis W.M. 1990. Basin morphology in relation to chemical and ecological characteristics of lakes on the Orinoco River floodplain. Venezuela. *Arch. Hydrobiol.* 119(4): 393-425.
- Hamilton S.K., Melack J.M., Goodchild M.F. y Lewis W.M. 1992. Estimation of the

- Fractal Dimensions of Terrain from Lake Size Distributions, p. 145-163. En P.A. Carling and G.E. Petts (eds.), *Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives*. J. Wiley & Sons. New York, 318 p.
- Hamilton S.K., Sippel S.J. y Melack J.M. 1996. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. *Arch. Hydrobiol.* 137(1): 1-23.
- Hammerly J.A. 2011. Calidad del agua. En: *Río Paraná: 203–214*. Bolsa de Comercio de Santa Fe, Argentina. ISBN 978-987-21099-4-3.
- Hannah D.M., Wood P.J. y Sadler J.P., 2007. Ecohydrology and hydroecology: A “new paradigm”? *Hydrological Processes* 18: 3439-3445.
- Hess L.L., Melack J.M., Filoso S. y Wang Y. 1995. Delineation of Inundated Area and Vegetation Along the Amazon Floodplain with the SIR-C Synthetic Aperture Radar. *IEEE Transactions on Geoscience and remote Sensing* 33(4): 896-904.
- Hutchinson G.E. 1957. *A treatise on Limnology. Geography, Physics and Chemistry. Volume 1*. John Wiley and Sons. New York, 1015 p.
- Irion G., Junk W.J. y De Mello J.A.S.N. 1997. The Large Central Amazonian River Floodplains Near Manaus: Geological, Climatological, Hydrological and Geomorphological Aspects. En W.J. Junk (ed.), *The Central Amazon Floodplain: 23-46*. Springer. Berlin.
- Iriondo M. 1972. Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del Río Paraná desde Helvecia hasta San Nicolás, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina XXVII (2): 155-160*.
- Iriondo M.H. 1975. Geomorfología y sedimentología del río Colastiné. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30(4): 349-359, Buenos Aires.
- Iriondo M.H. 1979. Origen y evolución del río Paraná. *II Jornadas del Paraná Medio, Santa Fe, Argentina*.
- Iriondo M.H. 1984. The Quaternary of northeastern Argentina. En: Rabassa J. (ed.). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, Vol. 2: 51-78*.
- Iriondo M.H. 1988. A Comparison Between The Amazon and Paraná River Systems. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband 66*.
- Iriondo M.H. 1989. Quaternary lakes of Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 70: 81-88. Elsevier.
- Iriondo M.H. 1993. El Litoral. En: *El Holoceno en la Argentina*. M. Iriondo (ed.)

- Cadinqua. Paraná 2: 1-22.
- Iriondo M.H. 1999. Climatic changes in the South American plains: records of a continent-scales oscillation. *Quat. Int.* 57-58: 93-112.
- Iriondo M.H. 2007. Geomorphology. En Iriondo M.H., Paggi J.C., Parma M.J. (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland.* 33-52. Springer, Berlín.
- Iriondo M.H. 2010. Las grandes llanuras. En Arche A. (ed.), *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Madrid), *Textos Universitarios* 46, 1287, 1251-1273.
- Iriondo M.H. 2012. Aguas subterráneas y superficiales de la Provincia de Santa Fe. Edición digital. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, Santa Fe. 147 p.
- Iriondo M.H. y Drago E.C. 1972. Descripción cuantitativa de dos unidades geomorfológicas de la llanura aluvial del río Paraná Medio, República Argentina. *Asoc. Geol. Arg. Rev.*, 27:143-154.
- Iriondo M.H., Paggi J.C., Parma M.J. (Eds.). 2007. *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland.* Springer, Berlín.
- Iriondo M.H. y Paira A.R. 2007. Physical Geography of the Basin. En Iriondo M.H., Paggi J.C., Parma M.J. (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland.* 7-31. Springer, Berlín.
- Iriondo M.H. y Suguio K. 1981. Neotectonic of the Amazon Plain. *Bulletin of the INQUA Neotectonic Commission* 4: 72-78.
- José de Paggi S.B. 1980. Campaña limnológica Keratella I en el río Paraná Medio: zooplancton de ambientes lóticos. *Ecología* 4: 69–75.
- José de Paggi S.B. 1993. Composition and seasonality of planktonic rotifers in limnetic and littoral regions of a floodplain lake (Paraná river system). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 26: 53–63.
- José de Paggi S.B. 2004. Diversidad de Rotíferos Monogononta del Litoral Fluvial Argentino. *INSUGEO* 12:185–194.
- José de Paggi S. y Paggi J.C. 2007. Zooplankton, p. 251-275. En M.H. Iriondo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland.* Springer, Berlín, 382 p.
- Junk W.J. 1984. Ecology of the várzea, floodplain of Amazonia white-water rivers. En

- Sioli H. (ed.), *The Amazon. Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin*: 215-243. Dordrecht. W. Junk Publishers.
- Junk W.J., Bayley P.B. y Sparks R.E. 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems, p. 110-127. En: D.P. Dodge (ed.), *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106.
- Knighton D. 1998. *Fluvial forms and processes*. Edward Arnold, London.
- LH (Laboratorio de Hidráulica). 1974. *Estudio del sistema fluvial Paraná – Santa Fe, Convenio SERNAH – INCYTH – PNUD – UNESCO, Vol. I y II*.
- Lajmanovich R.C. 2000. Interpretación ecológica de una comunidad larvaria de anfibios anuros. *Interciencia* 25:71–79.
- Lallana V.H. 1980. Productividad de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. en una laguna isleña de la cuenca del río Paraná Medio. II. Biomasa y dinámica de población. *Ecología* 5: 1-16.
- Latrubesse E.M. 2008. Patterns of anabranching channels: the ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology* 101: 130-145.
- Latrubesse E.M. 2012. Amazon lakes. En Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (eds.), *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. 13-26. Springer, Berlín.
- Latrubesse E.M. y Franzinelli E. 2002. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology* 44: 241-257.
- Lewis W.M., Hamilton S.K., Lasi M.A., Rodriguez M. y Saunders J.F.. 2000. Ecological determinism on the Orinoco Floodplain. *BioScience* 50:681-692.
- Lillesand T.M. y Kiefer R.W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 750 p.
- Lima D., Campana N., Amsler M., Schreider M. y Gaudin H. 1990. Desplazamiento de dunas y carga de fondo en un tramo del río Paraná. *Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica* 3: 1203-1214. Montevideo, Uruguay.
- Lobeck A.K. 1939. *Geomorphology*. McGraw-Hill, New York.
- Maine M., Suñe N. y Bonetto C. 2004. Nutrient concentrations in the Middle Paraná River: effect of the floodplain lakes. *Rev. Archiv für Hydrobiologie* 160:85 – 103.
- Maling D.H. 1989. *Measurements from Maps: Principles and Methods of Cartometry*. Pergamon Press. Oxford, UK. p. 577.

- Mangini S.P., Prendes H.H., Amsler M.L. y Huespe J. 2003. Importancia de la floculación en la sedimentación de la carga de lavado en ambientes del río Paraná, Argentina. *Ingeniería Hidráulica en México* Vol. XVIII(3): 55-69.
- Marchese M., Ezcurra de Drago, I., Drago E.C. 2002. Benthos invertebrates and physical habitat relationships in the Paraná River floodplain system, p. 111-132. En M. McClain (ed.), *The Ecohydrology of South American rivers and wetlands*, IAHS Special Publ. 6.
- Marchese M., Ezcurra de Drago I. 2006. Bentos como indicador de condiciones tróficas del sistema del río Paraná Medio, p. 297-316. En J.G. Tundisi, T.M. Tundisi, C.S. Galli (eds.), *Simposio. Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologia de gerenciamento e controle*. Instituto Internacional de Ecologia, Sao Carlos, Brasil.
- Marchese M. y Ezcurra de Drago I. 1992. Benthos of the lotic environments in the middle Paraná River system: transverse zonation. *Hydrobiologia* 237: 1-13.
- Marchese M., Wantzen K.M. y Ezcurra de Drago I. 2005. Benthic invertebrate assemblages and species diversity patterns of the upper Paraguay River. *River Res. Appl.* 21: 485-499.
- Marchetti Z.Y. y Carrillo-Rivera, J.J. 2014. Tracing groundwater discharge in the floodplain of the Paraná River, Argentina: Implications for its biological communities. *River Research and Applications* 30: 166-179.
- Marchetti Z.Y., Latrubesse E.M., Pereira M.S. y Ramonell C.G. 2013a. Seasonal dynamics of the vegetation and relationships with geomorphic units in the floodplain of the Paraná River, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 46: 122-136.
- Marchetti Z.Y., Giraudo A.R., Ramonell C.G. y Barberis I.M. 2013b. Humedales del Río Paraná con grandes lagunas. Cap. 3. En: *Inventarios de los Humedales de Argentina: Sistemas de paisajes de humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay*, pp: 187-204. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires.
- Marchetti Z.Y., Minotti P.G., Ramonell C.G., Schivo F. y Kandus P. 2016. NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the middle Paraná River floodplain. *Geomorphology* 253: 146-158.
- Margalef R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, España, 1010 p.
- Marston R.A., Girel J., Pautou G., Piegay H., Bravard J.P. y Arneson C. 1995. Channel

- metamorphosis, floodplain disturbance, and vegetation development: Ain River, France. *Geomorphology* 13: 121-131.
- Mayora G. 2015. Dinámica de especies químicas de importancia ecológica en el sistema del Río Paraná Medio: Influencia de las fases hidrológicas y relaciones con el fitoplancton. Tesis Doctoral. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas (UNL). Santa Fe. 150 p.
- Melack J. M. 1984. Amazon floodplain lakes: Shape, fetch and stratification. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22: 1278-1282.
- Melack J.M., Hess L.L. y Sippel S. 1994. Remote Sensing of Lakes and Floodplains in the Amazon Basin. *Remote Sensing Reviews* 10: 127-142.
- Mertes L.A.K. 1985. Floodplain development and sediment transport in the Solimoes-Amazon River, Brazil. MS Thesis, University of Washington, Seattle.
- Mertes L.A.K., Dunne T. y Martinelli L.A. 1996. Channel-floodplain geomorphology along the Solimoes-Amazon River, Brazil. *GSA Bulletin* 108(9): 1089-1107.
- Mitsch W.J. 1996. Managing the world's wetlands-Preserving and enhancing their ecological functions. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 26, 139-147.
- Mladenov N., McKnight D.M., Wolski P. y Ramberg L. 2005. Effects of annual flooding on dissolved organic carbon dynamics within a pristine wetland, the Okavango Delta, Botswana. *Wetlands* 25: 622 – 638.
- Neiff J.J. 1990. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia*. Venezuela 15(6): 424-441.
- Neiff J.J. 1994. Large rivers of South America: toward the new approach. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 26: 167-180.
- Neiff J.J. 1999. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. En: *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Ana Inés Malvárez Editora. Universidad de Buenos Aires. 97-146 p.
- Neiff J.J. 2001. Humedales de la Argentina: Sinopsis, problemas y perspectivas futuras, p. 83-112. En A.F. Cirelli (ed.), *El Agua en Iberoamérica. Funciones de los Humedales, calidad de vida y agua segura*. Publ. CYTED.
- Neiff J.J. y Poi de Neiff A. 1984. Cambios estacionales en la biomasa de *Eichhornia crassipes* Solms y su fauna asociada en una laguna del Chaco (Argentina). *Ecosur* 11: 51-60.
- Neiff J.J., Poi de Neiff A. and Casco S.L. 2001. The effect of prolonged flood on

- Eichhornia crassipes growth in Paraná River floodplain lakes. *Acta Limnol. Brasil.* 13(1).
- Oliveros O.B. 1980. Campaña limnológica "Keratella I" en el río Paraná Medio. Aspectos tróficos de los peces de ambientes leníticos. *Ecología* 4: 115–126.
- Oki T. y Kanae S. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 313: 1068-1072.
- Orfeo O. y Stevaux J. 2002. Hydraulic and morphological characteristic of middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil). *Geomorphology* 44: 309-322.
- Osborne P.L. 2000. *Tropical Ecosystems and Ecological Concepts*. Cambridge University Press. Cambridge, 464 p.
- Paira A.R. 2003. Características morfométricas de lagunas de la llanura de inundación del río Paraná Medio. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL, Santa Fe, Argentina, 141 p.
- Paira A.R. y Drago E.C. 2006. Genetical, morphological and evolutionary relationships of the floodplain lakes in the Middle Paraná River hydrosystem. *Zeitschrift für Geomorphologie* 145: 207-228.
- Paira A.R. y Drago E.C. 2007. Origin, Evolution, and Types of Floodplain Water Bodies, p. 53-81. En M.H. Iriondo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer, Berlín, 382 p.
- Paira A.R. y Drago E.C. 2009. Genetical, morphological and evolutionary relationships of the floodplain lakes in the Middle Paraná River hydrosystem. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, La Plata.
- Paira A., Espínola L., Amsler M. y Drago E. 2010. Guía de campo (primera etapa). VII Curso Latinoamericano de Limnología Fluvial Ríos con llanura aluvial. Limnología Física, Eco-Geo-Hidrología. INALI (CONICET-UNL), 8 pág. Santa Fe, Argentina.
- Paggi J.C. 1980. Campaña limnológica Keratella I en el río Paraná medio (Argentina). Zooplancton de ambientes leníticos. *Ecología* 4: 77–88.
- Paoli C. 1985. Los efectos de la crecida 1982-83 en la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas. Pautas de solución. CRL-INCYTH. Santa Fe, Argentina.
- Paoli C. 1994. Inundaciones en ríos de llanura con creciente ocupación. X Seminario

- del Centro Interamericano de Estudios Avanzados de los Recursos del Agua (CIRA). Anales pp. 151-158. Salvador, Bahía, Brasil.
- Paoli C. 2011a. Mean and low discharges. En: Río Paraná: 173–184. Bolsa de Comercio de Santa Fe. Argentina. ISBN 978-987-21099-4-3.
- Paoli C. 2011b. The floods. En: Río Paraná: 185–202. Bolsa de Comercio de Santa Fe. Argentina. ISBN 978-987-21099-4-3.
- Paoli C. y Cacik P. 2000. Régimen de crecidas y análisis de caudales máximos. En: Paoli C. y Schreider M. (eds.). El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, pp. 105–171.
- Paoli C., Iriondo M. y Garcia, N.O. 2000. Características de las cuencas de aporte. En: Paoli C. y Schreider M. (eds.). El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, pp. 27–68.
- Paoli C. y Schreider M. (Eds.). 2000. El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- Pasotti P. 1974. La Neotectónica en la Llanura Pampeana: Fundamentos para el mapa Neotectónico. Instituto de Fisiografía y Geología, U.N.R. Publicación LVII: 1-29.
- Pasotti P. 2000. La Geomorfología de la Pampa Santafesina y la Acción de la Placa Tectónica Sudamericana. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 70(1-2). Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario.
- Pasotti P. y Canoba C.A. 1979. Estudio de la Llanura Pampeana con imágenes Landsat. Publicaciones LXIII. Instituto de Fisiografía y Geología. Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario
- Pasotti P. y Castellanos A. 1966. Rasgos morfológicos generales de la llanura pampeana. Conferencia Regional Latinoamericana de U.G.I. México, 1966, Tomo 3. En: Boletín de la Filial Rosario de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos 3.
- Payne A.I. 1986. The Ecology of Tropical lakes and Rivers. J. Wiley & Sons. 301 p.
- Pearse A.S. 1939. Animal Ecology. McGraw-Hill. Nueva York, 642 p.

- Peltzer P.M. y Lajmanovich R.C. 2004. Anuran tadpole assemblages in riparian areas of Paraná River (Argentina). *Biodiv. Conserv.* 13:1833–1842.
- Pereira M.S., Montagnini M.D., Cafaro E., Gallego M., Hernández J. y Ramonell C.G. 2009. Disparidades de evolución morfológica y transporte sedimentario en ensanchamientos sucesivos del río Paraná. Cuarto Simp. Reg. Hidrául. de Ríos, 14 pp. Salta.
- Pereira M.S., Ramonell C.G., Latrubesse E. y Szupiany R. 2010. Análisis de bancos sumergidos del río Paraná Medio a través de imágenes satelitales. XXIV Cong. Latinoamer. de Hidráulica, 8 pp. Punta del Este.
- Petts G.E. y Amoros C. 1996. The fluvial hydrosystem. En: *Fluvial Hydrosystem*, Petts G.E. y Amoros C. (eds.). Chapman & hall, 322 p.
- Poi de Neiff A. y Neiff J.J. 2006. Riqueza de especies y similaridad de los invertebrados que viven en plantas flotantes de la planicie de inundación del río Paraná (Argentina). *Interciencia* 31(3): 220-225.
- Popolizio E. 2003. El Paraná y su historia geomorfológica. Tesis Doctoral. Facultad de Filosofía , Historia y Letras. Universidad del Salvador. Buenos Aires.
- Popolizio E. y Canoba C. 1986. A remote sensing methodological approach for applied Geomorphology mapping in plain areas. *Proceedings of Seventh International Symposium on Remote Sensing for Resources Developmen and Enviromental Managemment*. Comission VII, Enschede p. 657-663. Balkema, Rotterdam.
- Prendes H., Huespe J., Franco F. y Zanardi L. 2005. Diseño de sobreanchos para la Navegación Fluvial en un Canal con Corriente Transversal. Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, RIOS 2005: Principios y Aplicaciones en Hidráulica de Ríos. H. D. Farias, J. D. Brea y R. Cazeneuve (eds.). Neuquén, Argentina.
- Prendes H.H., Torres G.R. y Zapata C.R. 1996. Aspectos sedimentológicos del riacho Barranqueras. XIV Congreso Nacional del Agua, Neuquén, Argentina.
- Pringle C. 2001. Hydrologic connectivity and management of biological reserves: A global perspective. *Ecological Appl.* 11(4): 981-998.
- Puhakka M., Kalliola R., Rajasilta M. y Salo J. 1992. River types, site evolution and successional vegetation patterns in Peruvian Amazonia. *Journal of Biogeography* 19: 651-665.
- Quirós R. y Cuch S. 1989. The Fisheries and Limnology of the Lower Plata Basin, p.

429-443. En D.P. Dodge (ed.), Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106.

Rabuffetti A.P., Abril E., Espínola L.A., Amsler M.L., Eberle E.G., Blettler M. y Paira A.R. 2017. Influence of hydrology on the fish body condition in a large subtropical floodplain. *Neotropical Ichthyology*. DOI: 10.1590/1982-0224-20160049.

Ramonell C. 2005. Geología y Geomorfología de la laguna Setúbal y su entorno (Santa Fe, Argentina). Trabajo Final de Licenciatura en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis. San Luis.

Ramonell C.G., Amsler M.L. 2005. Avulsión y rectificación de meandros en planicies de bajo gradiente. *Ingeniería del Agua* 12(3): 231-248.

Ramonell C.G., Amsler M.L., Toniolo H. 2000. Geomorfología del cauce principal. En: Paoli C., Schreider M. (eds). El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Ramonell C.G., Amsler M.L. y Toniolo H. 2002. Shifting modes of the Paraná River thalweg in its middle/lower reach. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 129: 129-142, Berlin, Alemania.

Ramonell C.G. y Montagnini M.D. 1999. Particularidades del sedimento del lecho en ríos de origen andino y extra-andino de Argentina. *Memorias del Taller Regional sobre Tópicos Básicos y Aplicados de la Hidráulica Fluvial*, Santa Fe.

Ramonell C.G., Drago E.C., Paira A. y Amsler M.L. 2006. Levee toe scour: A mechanism of floodplain development in the Paraná river fluvial system. VI Simposio Nacional de Geomorfología y Regional Conference on Geomorphology. Goiania, Brasil.

Ramonell C.G., Drago E.C., Paira A. y Amsler M.L. 2007. Levee toe scour: a mechanism of sediment reworking in the Paraná River Floodplain. Workshop on Morphodynamic Processes in Large Lowland Rivers. Santa Fe.

Ramonell C.G., Szupiany R.N., Latrubesse E.M., García M., Pereira M.S., Gallego M.G., Marchetti Z.Y., Cafaro E.D., Paira A.R., Latosinski F.G., Bosisio A.C. y Torres G. 2011. Procesos de formación del río Paraná Medio. Nuevos paradigmas para su estudio. Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de

- Ríos. Santiago del Estero, Argentina. ISBN 978-987-1780-05-1.
- Ricciardi A. y Rasmussen J.B. 1999. Extinction rates of North American freshwater fauna. *Conservation Biology* 13: 1220-1222.
- Ringuelet R.A. 1962. *Ecología acuática continental*. Eudeba, Buenos Aires, 138 p.
- Rodrigues L., Thomaz S.M., Agostinho A.A. y Gomes L.C. 2005. *Biocoenosis in Reservoirs: spatial and temporal patterns*. RIMA, San Carlos, Brazil.
- Rossi L., Cordiviola E. y Parma M.J. 2007. Fishes, p. 305-325. En M.H. Iriondo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer, Berlín, 382 p.
- Sabattini R.A. y Lallana V.H. 2007. Aquatic Macrophytes, p. 205-226. En M.H. Iriondo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer, Berlín, 382 p.
- Sabattini R.A. y Lallana V.H. 1998. Optimum sampling size of the aquatic vegetation in the alluvial valley of the Middle Paraná River (Argentina). *Proceedings of the 10th EWRS Symposium on Aquatic Weeds, Lisbon*, pp: 111–114.
- Sadler J.P., Bell D. y Fowles A.P. 2004. The hydroecological controls and conservation value of betules on exposed riverine sediments in England and Wales. *Biological Conservation* 118: 41-56.
- Saigo M., Zilli F.L. y Marchese M.R. 2016. Trophic level, food chain length and omnivory in the Paraná River: a food web model approach in a floodplain river system. *Ecol. Res.* 30:843. doi:10.1007/s11284-015-1283-1
- Saigo M., Marchese M y Wantzen K.M. 2015. A closer look at the main actors of Neotropical floodplain food webs: functional classification and niche overlap of dominant benthic invertebrates in a floodplain lake of Paraná River. *Iheringia. Série Zoologia*. DOI: 10.1590/1678-4766e2016004.
- Sánchez L. y Vásquez E. 1986. Notes on aquatic macrophytes in the lower section of the Orinoco floodplain system, Venezuela. *Conference on Research and Applications of Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*. Orlando, Florida (USA). Julio 20-24, 1986.
- Sarubbi A. 2007. *Análisis del Avance del Frente del Delta del Río Paraná*. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería (UBA), 145 p.

- Scarabotti P.A., López J.A. y Marc Pouilly M. 2011. Flood pulse and the dynamics of fish assemblage structure from neotropical floodplain lakes. *Ecology of Freshwater Fish* 20 (4): 605-618.
- Schmidt G.W. 1973(a). Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian waters. II. The limnology of a tropical floodplain lake in Central Amazonia (Lago do Castanho). *Amazoniana* 4: 135-138.
- Schmidt G.W. 1973(b). Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian waters. III. Primary productivity of phytoplankton in a tropical floodplain lake of Central Amazonia (Lago do Castanho). *Amazoniana* 4: 379-404.
- Schumm S.A. 1977. *The Fluvial System*. J. Wiley & Sons, 338 p.
- Schumm S.A. 1988. Variability of the fluvial system in space and time. In: T. Rosswall, R.G. Woodmansee and P.G. Risser (eds.), *Scales and Global Change: Spatial and Temporal Variability in Biosphereic and Geospheric Processes*. Scope: 35. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 225-250.
- Schumm S.A., Dumont H.F y Holbrook J.M. 2002. *Active tectonics and alluvial rivers*. Cambridge University Press. New York, 276 p.
- Sippel S. J., Hamilton S.K. y Melack J. 1992. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain, Brazil. *Arch. Hydrobiol.*, 123: 385-400.
- Sobrero F.S., Ramonell C.G. y Pereira M.S. 2014. Cambios morfológicos del cauce principal del río Paraná en Argentina, Siglo XIX a la actualidad. *Aqua-LAC* Vol. 6 (1): 50-62.
- Soldano F. 1947. *Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina*. Cimera. Buenos Aires.
- Sottini R. y Rossi L. 2008. Ecología trófica de juveniles de *Pimelodus albicans* (Pisces, Pimelodidae) del tramo inferior del río Salado (Santa Fe, Argentina) *Natura Neotropicalis* 55-60.
- Sparks R.E., Bayley P.B., Kohlert S.L., Osborne L.L. 1990. Disturbance and recovery of large floodplain rivers. *Environmental Management* 14: 699-709.
- Timms B.V. 1992. *Lake Geomorphology*. Gleneagles Publishing. Adelaide, 180 p.
- Tockner K., Pennetzdorfer D., Reiner N., Shiemer F. y Ward J.V. 1999. Hydrological connectivity and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system (Danube, Austria). *Fresh. Biol.* 41: 521-535.

- Tockner K., Malard F. y Ward J.V. 2000. An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes* 14: 2861-2883.
- Toniolo H.A. 1999. Las Divagaciones del Thalweg del Río Paraná. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe.
- Tucci C. 1997. Environmental issues in the Plata River. Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Brazil.
- Unrein F. 2002. Changes in phytoplankton community along a transversal section of the Lower Parana floodplain, Argentina. *Hydrobiologia* 468: 123 – 134.
- Van der Lee G.E.M, Olde Venterink H. y Asselman N.E.M. 2004. Nutrient retention in floodplains of the Rhine distributaries in the Netherlands. *River Res. Appl.* 20: 315- 325.
- Vásquez E. 1988. Morfometría de un conjunto de Lagunas de Inundación del Bajo Orinoco, Venezuela. *Revista Pantepui*(4): 31-37. Venezuela.
- Wantzen K.M., Drago E.C. y da Silva C.J. 2005. Aquatic habitats of the Upper Paraguay River-Floodplain System and parts of the Pantanal (Brazil). *Ecohydrol. Hydrobiol.* 5: 107-126.
- Ward J.V. y Stanford J.A. 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Reg. Riv. Res. Manag.* 11: 105-119.
- Ward J.V., Tockner K., Arscott D.B y Claret C. 2002. Riverine landscape diversity *Freshwat. Biol.* 47: 517-539.
- Welcome R.L. 1979. Fisheries ecology of floodplain rivers. Longman, London, 317 p.
- Wetzel R.G. 1981. Limnología. Omega. Barcelona, 679 p.
- Wiens J.A. 1986. Spatial scale and temporal variation in studies of shrub-steppe birds. In Diamond J. and Case T.J. (Eds.). *Community Ecology*, New York: Harper and Row.
- Wilcox B.P. y Thurow T.L. 2006. Emerging issues in rangeland ecohydrology. *Hydrological Processes* 20: 3159-3178.
- Wong C.M., Williams C.E., Pittock J., Collier U. y Schelle P. 2007. World's top 10 rivers at risk. WWF International. Gland, Switzerland.
- World Bank. 1996. Flood Protection Project. Report No. 15354-AR

- Zalocar de Domitrovic Y. 1999. Estructura y dinámica del fitoplancton en la cuenca del eje potámico Paraguay-Paraná (Argentina). Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, 375 p.
- Zalocar de Domitrovic Y. 2003. Effect of fluctuations in water level on phytoplankton development in three lakes of the Paraná river floodplain (Argentina). *Hydrobiologia* 510: 175–193.
- Zalocar de Domitrovic Y. 2005. Biodiversidad del fitoplancton en el eje fluvial Paraguay-Paraná, p. 229–242. En F.G. Aceñolaza (ed.), *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino II*. INSUGEO, Miscelánea 14.
- Zalocar de Domitrovic Y., Devercelli M. y García de Emiliani M.O. 2007. Phytoplankton, p. 177-203. En M.H. Iriundo, J.C. Paggi & M.J. Parma (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropic al Wetland*. Springer, Berlín, 382 p.
- Zilli F.L. 2010. Bentos en ambientes leníticos con diferente grado de conectividad en la llanura aluvial del Río Paraná Medio. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. La Plata.
- Zilli F.L. 2013. Distribution of benthic invertebrate biomass and secondary production in relation to floodplain connectivity in a large river system (Paraná River, Argentina). *Internat. Rev. Hydrobiol.* 98: 284–293.
- Zucarelli G.V. y Ceirano E.B. 2002. Aplicación del método inverso para la determinación de la rugosidad de Manning en el tramo medio del río Paraná. *Cuadernos del CURIHAM* 8(1): 64-72.
- Zumberge J. 1952. *The lakes of Minnesota; their origin and classification*. University of Minnesota Press. Minneapolis, 99 p.

Curriculum Vitae

Licenciado en Cartografía egresado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). Profesional Principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el Instituto Nacional de Limnología (INALI, CONICET-UNL). Profesor Adjunto Ordinario (Categoría 3 Docente-investigador) y responsable de las Cátedras de Cartografía Temática y Aplicaciones Cartográficas de las Carreras de Ingeniería en Agrimensura y Perito Topo-Cartógrafo de la FICH de la UNL.

Jurado docente de trabajos finales de carrera, concursos docentes y pasantías en la UNL.

Co-director de 2 becarios doctorales de CONICET, co-director de 5 tesinas y cientibecas, asesor temático de 7 trabajos finales de carrera de grado.

Autor y co-autor en 19 trabajos publicados en revistas periódicas, 3 capítulos de libros, 43 trabajos presentados como autor y en co-autoría en congresos, jornadas y reuniones científicas. Asistencia a 31 congresos, jornadas y reuniones científicas. Integrante de proyectos de investigación financiados por CONICET, ANPCyT, Universidades, etc.

Director y co-director de 5 proyectos de extensión de cátedra y de interés social de la UNL.

e-mails: alpaira@santafe-conicet.gov.ar

apaira@inali.unl.edu.ar