



ESCUELA DE GEOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y  
NATURALES UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CÓRDOBA



## TRABAJO FINAL

# ***“Inventario y Geomorfometría de los Humedales del sur de la provincia de Córdoba utilizando Sensores Remotos y Sistema de Información Geográfica (SIG)”***

Priscila S. Zandomeni

Directora Dra. Marcela A. Cioccale

-2014-

*Agradecimientos:*

*A la Dra. Marcela Cioccale, mi directora de trabajo final, por su valiosa dirección y apoyo, aportes, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo final y por haberme facilitado los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de la misma. Muchas Gracias.*

*A mis padres, José Luis y Lucia, que me dieron la posibilidad de estudiar y formarme profesionalmente. Por sus consejos y apoyo constante y por ser un pilar fundamental en mi vida.*

*A mi hermana Ivonne por sus consejos en este trabajo final y a mis hermanas por su cariño y motivación.*

*A mi novio Alejandro y su familia, por su apoyo y su gran ayuda en este último tiempo.*

*A la familia Fernández de Huinca Renancó y especialmente a Gonzalo, por haberme brindado la ayuda necesaria y haber aportado con sus conocimientos de la zona al desarrollo del trabajo de campo.*

*A mis compañeros y amigos con los cuales compartí los años de la carrera. Gracias por su alegría, generosidad y ayuda.*

*A la geóloga Jesica Augsburguer, por sus valiosos aportes y sugerencias en este trabajo final.*

*A los miembros del tribunal, profesores durante mi carrera de Geología, por haber aportado a mi formación y por tomarse el tiempo de leer este trabajo final.*

**.INDICE DE CONTENIDOS**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>I. PRIMER BLOQUE.....</b>	<b>5</b>
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	7
Objetivos generales.....	7
Objetivos Específicos .....	7
<b>II. SEGUNDO BLOQUE.....</b>	<b>8</b>
UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ACCESOS .....	8
MARCO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO .....	10
HIDROGRAFIA SUPERFICIAL .....	21
CLIMA .....	23
SUELOS.....	24
VEGETACIÓN .....	25
AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	26
<b>III.TERCER BLOQUE .....</b>	<b>28</b>
MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
Materiales de Gabinete .....	29
Métodos .....	34
<b>IV. CUARTO BLOQUE.....</b>	<b>39</b>
LOS HUMEDALES DEL SUR DE CÓRDOBA .....	39
Geomorfología de las lagunas del sur de Córdoba .....	40
Funcionamiento Hidrológico de los humedales .....	48
<b>V. QUINTO BLOQUE .....</b>	<b>59</b>

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA .....	59
<b>VI. SEXTO BLOQUE.....</b>	<b>84</b>
ANALISIS DE VIENTOS Y SU RELACIÓN CON LA GEOMORFOMETRIA LAGUNAR..	84
La influencia del viento en las lagunas de las unidades geomorfológicas del Sur de Córdoba .	87
<b>VII. SEPTIMO BLOQUE .....</b>	<b>91</b>
ANALISIS MORFOMÉTRICO DE LA LAGUNA LA MARGARITA .....	91
Ubicación .....	91
Geomorfología de la laguna La Margarita.....	92
Caracterización Geomorfométrica .....	95
<b>VIII. OCTAVO BLOQUE .....</b>	<b>99</b>
CUESTION AMBIENTAL.....	99
Protección de los Humedales .....	99
El impacto Agrícola-Ganadero .....	100
Canalizaciones .....	102
Inundaciones .....	103
<b>IX. NOVENO BLOQUE.....</b>	<b>106</b>
DISCUSIÓN.....	106
<b>X. CONCLUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>114</b>
<b>XI. ANEXOS.....</b>	<b>125</b>



## RESUMEN

En la región pampeana del sur de la provincia de Córdoba, se acumulan cuerpos de agua resultado de procesos geomorfológicos, clima, balance hídrico de precipitación-evapotranspiración y procesos de recarga y descarga subterránea que determinan la presencia de un sistema de humedales. Estas lagunas están asociadas a formas eólicas primarias ligadas a cubetas de deflación de origen eólico y a paleocauces, todas inmersas en el denominado “Mar de Arena Pampeano” (Iriondo, 1990). Estos cuerpos lacustres son consecuencia de ciclos sucesivos secos y húmedos acontecidos en el Cuaternario tardío. Los cambios climáticos alternantes fueron los responsables de generar un paisaje dominado por dunas y mantos de arena con presencia de bañados y lagunas temporarias y permanentes en la Planicie Eólica Arenosa del Sur (Carignano 1996, 1999; Carignano *et al.* 2014). El área de estudio comprende las lagunas del sur de la provincia de Córdoba ubicadas entre los 33°08'10,11" S y 34°58'50,61" de latitud sur y entre los 61°23'11,64" O y 64°23'11,64" de latitud oeste.

El objetivo principal de este trabajo consistió en realizar un inventario de los cuerpos lagunares y establecer los parámetros morfométricos básicos del sistema lacustre del sur de la provincia de Córdoba con el fin de comprender los procesos que le dieron origen y su relación con los paleoclimas cuaternarios.

Para el mapeo y caracterización de las lagunas se utilizó un sistema de información geográfica (QSIG) a través del cual se procedió a digitalizar y medir parámetros morfométricos específicos sobre información suministrada por sensores remotos (Imágenes LANDSAT y Modelo digital de elevación SRTM), determinándose así valores geomorfométricos de área, perímetro y volumen, índices y relaciones morfométricas para, de este modo, aportar al conocimiento de la morfogénesis de estos cuerpos lacustres. Los controles de campo en la zona de estudio consistieron en un reconocimiento del área de interés y en la toma de medidas de profundidad in situ. Dichos resultados se combinaron con los rasgos obtenidos a través del procesamiento digital de imágenes espectrales (Brenner 1997). Todos los sitios de medición se georreferenciaron con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Por medio del uso de los sensores remotos, el procesamiento digital de imágenes satelitales y el control de campo correspondiente se pudo establecer que se trata de lagunas de baja profundidad y de límites irregulares y netos. Algunos cuerpos de agua son temporales y otros pocos de carácter permanente. Sus áreas y perímetros, parámetros ligados al clima de la región, varían en función de la estación, precipitación, evaporación y escurrimiento superficial local y subterránea. Son lagunas que

poseen un área promedio de 3,43 km<sup>2</sup>. Según la clasificación de Hankanson (2011), estos valores se ubican en el campo de las muy pequeñas (<10 km<sup>2</sup>). Poseen un perímetro medio de 12,74km. Su Índice de Desarrollo de Costa oscila entre 1,29 y 6,17 con una mediana de 2,07. El análisis de este último parámetro, permite establecer que se trata de cuerpos de agua de forma subcircular a elíptica. Son cuerpos lacustres muy someros con profundidades menores a los 4 m, con algunas pocas excepciones. No estratifican térmicamente, excepto por períodos cortos de tiempo. En general, poseen una baja transparencia y elevada turbidez (medida con un disco de Secchi en campo). Con respecto a lagunas ligadas a paleocauces y ubicadas en depresiones de origen fluvial (abanico del Río Popopis), éstas poseen mayores dimensiones, una orientación NO-SE y conforman cuerpos de agua de mayor turbidez y profundidad, disponiéndose en rosario siguiendo el eje de los paleocanales. Ejemplo de ello, son las lagunas La Margarita, San Pedro, Nelson, La Legua, entre otras. Presentan un alto dinamismo y son una vía de transporte y circulación de agua y sedimentos hacia las provincias vecinas (La Pampa y Buenos Aires).

Las lagunas del sur de Córdoba presentan un origen eólico, fluvial o mixto con dos patrones principales de orientación: NE-SO y NO-SE, según se encuentren ligadas a cubetas de deflación eólica o a depresiones ubicadas en paleocauces fluviales controladas por lineamientos que afectan al abanico del Río Popopis respectivamente.

Se considera que el estudio de estos humedales representa por un lado, un avance para la comprensión de la dinámica ambiental de la región y por otro, constituye un aporte para una gestión integrada que permitirá la planificación territorial y aprovechamiento sustentable del recurso.

## I. PRIMER BLOQUE

### INTRODUCCIÓN

En el sur de la provincia de Córdoba, se acumulan cuerpos de agua resultado de procesos geomorfológicos, clima, balance hídrico de precipitación-evapotranspiración y procesos de recarga y descarga subterránea que determinan la presencia de un sistema de humedales. Estas lagunas, desarrolladas dentro de la región pampeana Argentina, están asociadas a formas eólicas primarias ligadas a cubetas de deflación de origen eólico y a paleocauces, todas inmersas en el denominado “Mar de Arena Pampeano” (Iriondo, 1990). Estos cuerpos lacustres son consecuencia de ciclos sucesivos secos y húmedos acontecidos en el cuaternario tardío. Los cambios climáticos alternantes fueron los responsables de generar un paisaje dominado por dunas y mantos de arenas con presencia de bañados y lagunas temporarias y permanentes en la Planicie Eólica Arenosa del Sur (Carignano 1996, 1999; Carignano *et al.* 2014).

Un análisis por medio de sensores remotos, del procesamiento digital de imágenes espectrales y sistemas de información geográfica (SIG), permite establecer parámetros de variabilidad de los cuerpos de agua para así compararlos con otros de la región y evaluar su comportamiento. Por medio de la utilización de los sistemas de información georreferenciada se puede describir y comparar los cuerpos de agua de la zona para así aportar al conocimiento de su morfogénesis en relación al paisaje geomorfológico presente y a los cambios climáticos. El procesamiento digital de imágenes satelitales permite delimitar e identificar los elementos del paisaje y realizar una interpolación adecuada de los resultados de campo con la información brindada por la combinación de bandas multiespectrales, hiperespectrales y a través del uso de métodos de identificación y demarcación de la variedad de profundidades en los humedales.

El análisis morfométrico es de fundamental importancia ya que la forma del cuerpo de agua es un determinante junto con el clima y el tipo de suelos de la cuenca de drenaje, de su productividad biológica (Quirós, 2004), pero sobre todo un estudio morfométrico es elemental para establecer la relación de estos cuerpos acuáticos con los paleoclimas del pasado y estudiar su génesis debido a los sucesivos cambios ambientales.

La morfometría lagunar está en función de los factores climáticos, litológicos y uso del suelo predominantemente. Su estudio es de particular importancia en el análisis de la variabilidad del nivel de agua de estas lagunas, así como en el estudio de la relación de las mismas con las

actividades agrícolas circundantes y para el monitoreo de sus cambios morfológicos en función del clima, paisaje eólico y tipo de suelo.

Combinar el estudio de la morfometría de las lagunas con los sistemas de información geográfica (SIG) es una vía para el análisis de estos parámetros ya que a través de un SIG se puede editar, analizar, calcular, y mostrar la información de parámetros morfométricos geográficamente referenciados.

Por otra parte, las lagunas someras (tales como las que constituyen objeto de estudio del presente trabajo final) son particularmente vulnerables a la eutrofización, a variaciones de nivel hídrico y a la infiltración de pesticidas. Los sistemas someros oligotróficos están caracterizados por aguas transparentes, presencia de macrófitos en el fondo, pequeñas biomasas, concentraciones de fitoplancton y sólidos en suspensión. Mientras que los sistemas eutróficos están caracterizados por aguas turbias, ausencia de macrófitos y alta biomasa de fitoplancton. La turbidez del agua de un lago afecta inmediatamente a su valor ecológico, económico y recreativo (Conde-Porcuna, 2004). En este sentido se evaluará el parámetro de turbidez con el fin de caracterizar el estado trófico, en forma preliminar, del sistema léntico en cuestión.

Estudios previos relacionados a la zona han sido llevado a cabo por diversos autores que realizaron trabajos de la planicie pampeana (Iriondo, 1990a, 1989, 1997, Iriondo y Kröhling, 1995; Carignano, 1999; Kröhling y Orfeo 2002; Zárate 2003; Zárate y Tripaldi 2012; Tripaldi, 2013; Tripaldi *et al.* 2010; Degioanni *et al.* 2002; Lucero *et al.* 2010; Ringuelet, 1962) y estudios morfométricos y limnológicos de cuerpos lacustres (Dangavs 1976; Aimar *et al.* 2010; Quirós, 2004; Fornerón *et al.* 2010; García Rodríguez *et al.* 2009; Piovano, 2004; Córdoba F. *et al.* 2008; Romanelli *et al.* 2010).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos generales**

Realizar un inventario de los cuerpos lagunares y establecer los parámetros morfométricos básicos del sistema lacustre del sur de la provincia de Córdoba con el fin de comprender los procesos que le dieron origen y su relación con los paleoclimas cuaternarios.

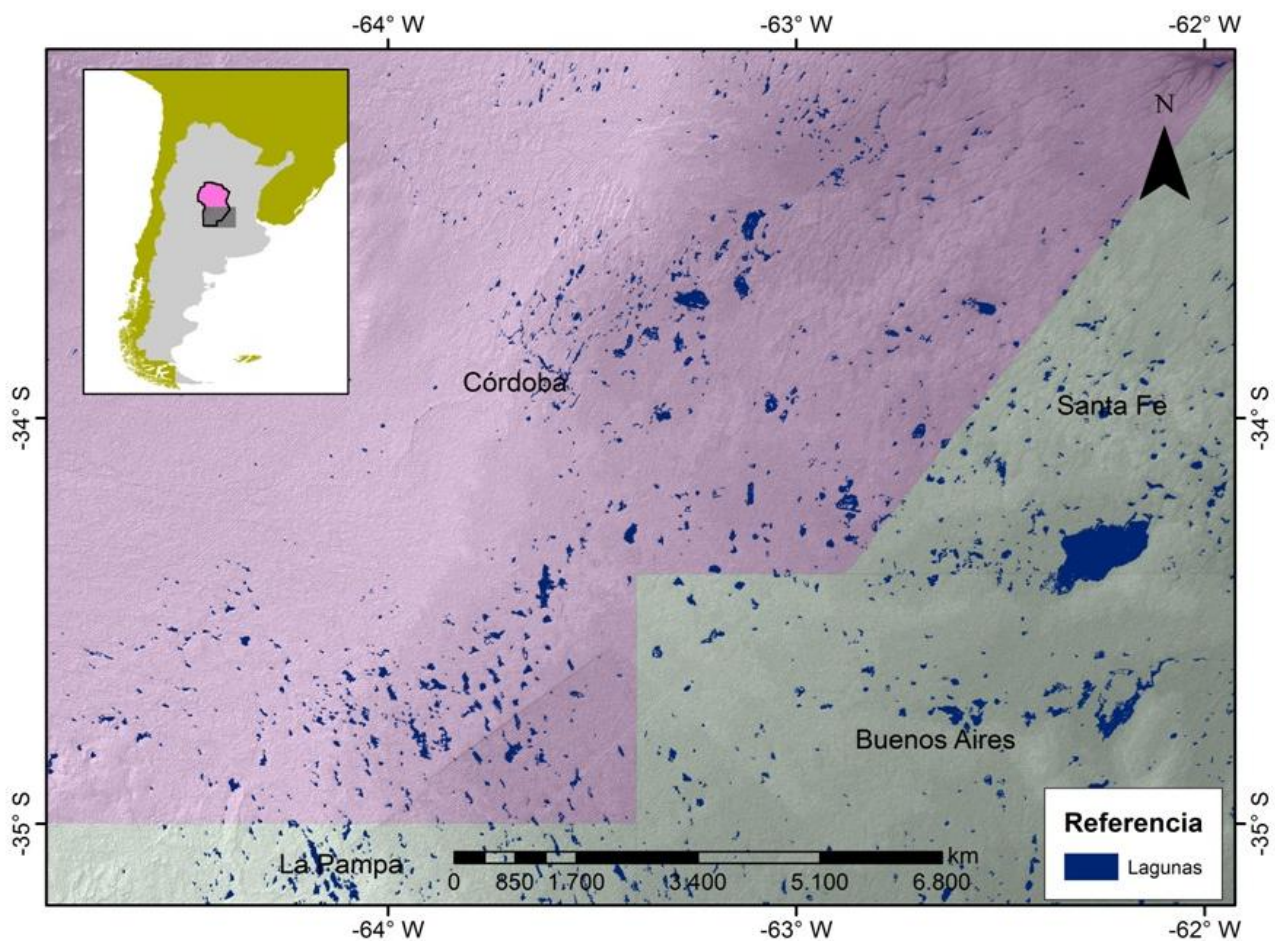
### **Objetivos específicos**

- \* Utilizar y comprender sistemas de información geográfica (SIG) para editar, analizar, calcular y determinar parámetros pertinentes a la morfometría lagunar.
- \* Calcular parámetros morfométricos específicos de área, perímetro, volumen, longitud y ancho a través de un SIG de las lagunas del sur de Córdoba.
- \* Describir y analizar las líneas de costa, profundidades y disposición de las lagunas para determinar su forma y dimensión a través de un adecuado procesamiento de las imágenes adquiridas por sensores remotos y teledetección y a través del control de campo correspondiente.
- \* Determinar turbidez de algunos cuerpos lacustres para poder establecer, en forma preliminar, su estado trófico.
- \* Analizar comportamiento, evolución y disposición areal de los cuerpos de agua en función a los estudios de vientos y paleovientos y de acuerdo a su dinámica hidrológica-hidreogeológica.
- \* Representar la información geomorfométrica obtenida en gráficos y realizar estadísticas e índices.
- \* Identificar posibles factores antrópicos que afecten las condiciones del humedal.

## II. SEGUNDO BLOQUE

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ACCESOS

El área de estudio comprende las lagunas del sur de la provincia de Córdoba ubicadas entre los  $33^{\circ}08'10,11''\text{S}$  y  $34^{\circ}58'50,61''\text{S}$  y entre los  $61^{\circ}23'11,64''\text{O}$  y  $64^{\circ}23'11,64''\text{O}$  inmersas en la región de la llanura pampeana (Fig. 2.1).



**Figura 2.1:** El área de estudio comprende las lagunas inmersas en el Sur de la provincia de Córdoba (Sector lila).

Los accesos a las mismas se pueden realizar a través del sistema de trazado de rutas nacionales y provinciales (Rutas nacionales N° 35, 7 y 8, y rutas provinciales N° 4, 26, 10, 27,3, 11) las cuales rodean y encierran los cuerpos lagunares del sur de la provincia de Córdoba (Fig. 2.2).

La **Ruta Nacional N° 35** comunica la ciudad de Río Cuarto con la localidad Huinca Renancó y posee un recorrido de 233 km en la provincia de Córdoba. Une la ciudad de Bahía Blanca en

la Provincia de Buenos Aires con la localidad de Santa Catalina, a 10 km al sudoeste de Río Cuarto. Se extiende también sobre la provincia de La Pampa.

La **Ruta Nacional N° 7** “Carretera Libertador General San Martín” es una ruta que une las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, San Luis y Mendoza. Forma parte del más importante corredor bioceánico del país y es un ramal de la carretera panamericana, que continúa en territorio chileno como Ruta CH-60. En Córdoba posee un recorrido de 222 km.



**Figura 2.2:** Rutas de acceso al área de estudio.

La **Ruta Nacional 8** atraviesa el sur de la provincia de Córdoba de este a oeste con un recorrido total de 292 km. Esta ruta comunica las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y San Luis.

## MARCO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

La provincia de Córdoba se encuentra ubicada en la región central de la Argentina, abarcando dos provincias geomorfológicas: Sierras Pampeanas y Llanura Chacopampeana (Carignano *et al.* 2014). La llanura Chacopampeana es una extensa unidad geomorfológica mayor (en Córdoba comprende una superficie de más de 100.000 km<sup>2</sup>). Constituye una extensa cuenca distal del antepaís andino, en especial de las Sierras Pampeanas y Subandinas (Ramos 1999), cuya sedimentación cenozoica se destaca por el predominio de depósitos distales de sistemas fluviales y aluviales efímeros y depósitos eólicos, mayormente loess, siendo el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud continental atlánticos (Chebli *et al.* 1999).

Según Carignano *et al.* (2014) la provincia geomorfológica Llanura Chacopampeana en la provincia de Córdoba comprende 4 ambientes geomorfológicos mayores: Depresión de la Laguna de Mar



**Figura 2.3:** Se observa el “Mar de arena Pampeano y la faja de loess detrás (Iriondo, 1997).

Chiquita, Planicie fluvioeólica central, Planicie arenosa eólica del Sur y Ambientes Pedemontanos. Esta llanura se encuentra cubierta por depósitos eólicos Pleistocenos y Holocenos conformando mantos agrupados (Iriondo 1990a, b y c, 1997) en una gran unidad geomorfológica mayor denominada Sistema Eólico Pampeano, que se compone de un núcleo arenoso llamado Mar de Arena Pampeano y de una extensa Faja Periférica Loésica (Iriondo 1990a, b y c; Iriondo y Kröhling, 1996) (Fig. 2.3). Los episodios áridos y húmedos sucesivos que ocurrieron en las últimas etapas del Pleistoceno caracterizaron geomorfológicamente a esta planicie. El paisaje actual posee una fuerte influencia de los eventos húmedos, correspondiente al Estadio Isotópico de Oxígeno 3 (EIO 3) en el que se labró el actual sistema fluvial y de la actividad eólica

correspondiente a los períodos áridos del Pleistoceno tardío y Holoceno tardío, destacándose la



generación de un manto de loess, campos de dunas y cubetas de deflación que actualmente son ocupadas por lagunas (Carignano *et al.* 2014).

Desde el Plioceno, la región está controlada por deformaciones geotectónicas originadas en esfuerzos compresivos (Brunetto e Iriondo 2007) que se han propagado incluso hasta su borde atlántico (Chebli *et al.* 1999). Ello influye significativamente en la configuración general del drenaje y en la dinámica hidrogeológica a través de la formación de altos estructurales (Lomas de Otumpa, Bloque de San Guillermo, Alto de Levalle, etc.) y de depresiones tectónicas (Mar Chiquita, Curapaligue-Saladillo, Tigre Muerto, etc.) (Carignano *et al.* 2014).

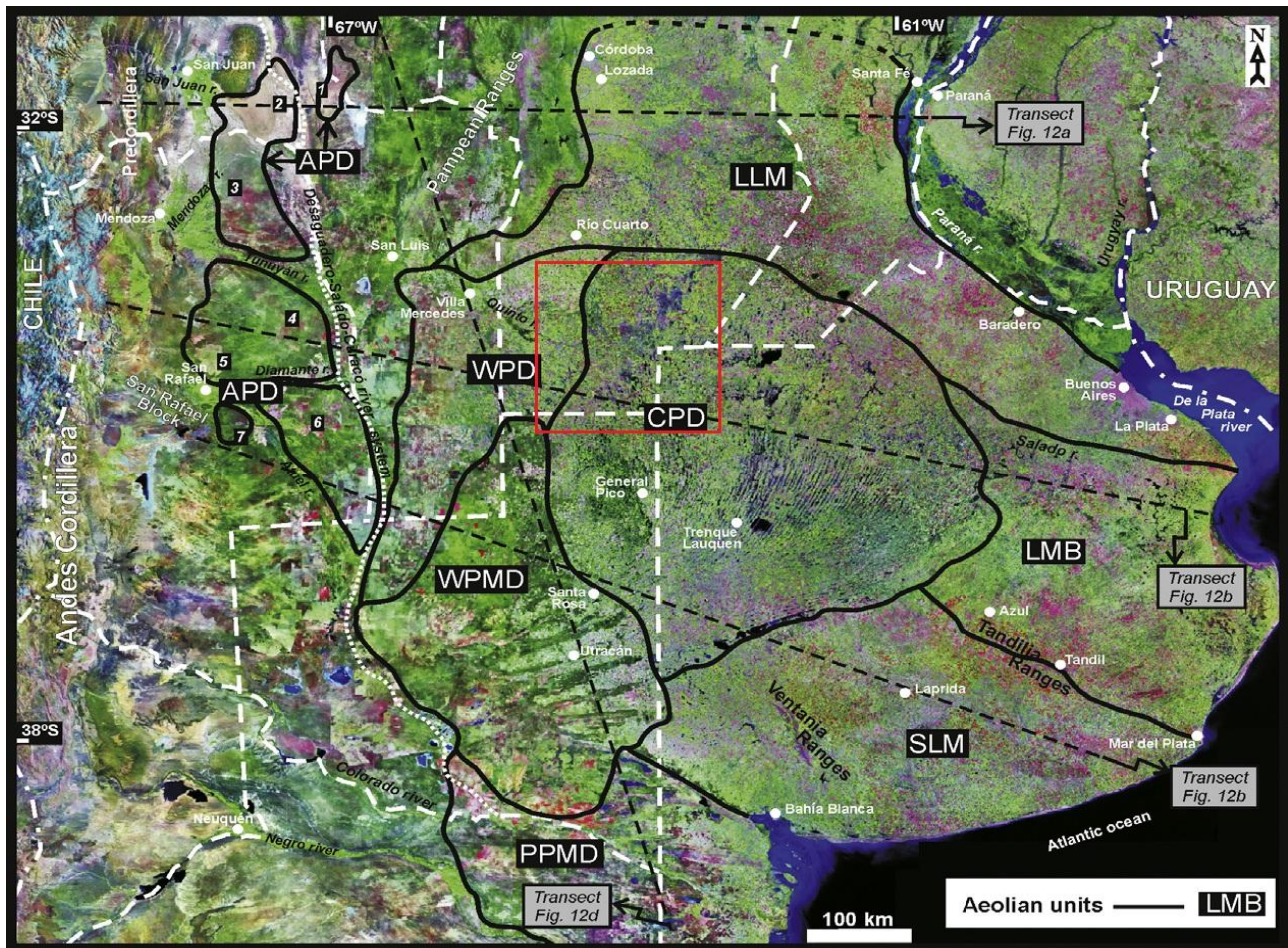
### **Planicie Eólica Arenosa del Sur de Córdoba**

Es en esta unidad donde está presente el sistema de humedales en estudio.

La Planicie Eólica Arenosa del Sur, unidad así definida por Carignano (1996, 1997 y b, 1999) es parte del extremo noreste del extenso sistema eólico denominado Mar de Arena Pampeano –MAP– (Iriondo 1990 a, b y c; Iriondo y Kröhling 1996). Abarca sudeste de San Luis, sur de Santa Fe, centro-norte de Buenos Aires y norte de La Pampa. Esta planicie se caracteriza por poseer geoformas de deflación (Iriondo, 1990 a) e incluye campo de dunas, mantos de arena y cubetas de deflación (Carignano, 1999). Cuatro procesos en el Cuaternario tardío son encargados de la evolución del paisaje: deflación, disipación de dunas, desarrollo de fajas fluviales y pedogénesis.

La Planicie Eólica Arenosa del Sur abarca dos sistemas geomorfológicos eólicos centrales de Argentina denominados *Campo Pampeano de Dunas central (CPD; Central Pampean Dunefield)* y *Campo Pampeano de Dunas Occidental (WPD; Western Pampean Dunefield)* (Zárate y Tripaldi, 2012) (Fig. 2.4). La mayoría de las lagunas estudiadas se ubican dentro del sistema geomorfológico eólico CPD y otras pocas, hacia el SW, se encuentran ubicadas dentro de WPD.

Además, seis ambientes principales son reconocidos en esta unidad (Fig. 2.5): El *Paleoabanico del río Quinto*, la *Depresión Curapaligüe – Saladillo*, la *Planicie Sudoriental con Campos de Dunas*, el *Campo de dunas Villa Valeria-La Oscura*, el *Alto El Cuero* y el *Alto de Villa Huidobro - Huinca Renancó*.



**Figura 2.4:** Área de estudio en recuadro rojo. Se observan los sistemas geomorfológicos eólicos CPD (Central Pampean Dunefield) y WPD (Western Pampean Dunefield). (Zárate y Tripaldi, 2012).

### *Campo de Dunas Central (CPD)*

El sistema donde se encuentran la mayor cantidad de las lagunas del sur de Córdoba, (CPD) (Fig. 2.4), se caracteriza por ser poseer un suave relieve cuya altura varía de 120 a 140 m s.n.m a 50 m s.n.m. Su configuración geomorfológica está controlada por las cuencas de su subsuelo denominadas General Levalle y Laboulaye con rellenos cretácicos y cenozoicos (Zárate y Tripaldi, 2012).

Las principales geoformas son dunas lineales de 100-130 km de de largo y 2-3 km de ancho con una dirección N-NE. Hacia el sur del campo de dunas éstas pasan a ser parabólicas. La orientación de ambos patrones sugiere paleovientos desde el suroeste. El metro superior de las dunas de arena esta modificado por procesos pedogenéticos, molisoles y entisoles (INTA, 1990), incluyendo en algunas localidades una capa de ceniza volcánica de 1-2 m de espesor relacionada a la erupción Quizapú de 1932 (Imbellone y Camilion, 1988; Hildreth y Drake, 1992). El rango de tamaño de la arena es de grano grueso en la base a grano fino en el tope (Zárate y Tripaldi, 2012).

Las dunas de esta unidad juegan un rol fundamental controlando el sistema de drenaje pobremente integrado del área.

### ***Campo de Dunas del Oeste (WPD)***

El grupo menor de lagunas que se encuentran hacia el suroeste de la provincia están ubicadas dentro del sistema geomorfológico eólico WPD (Western pampean Dunefield) (Fig. 2.4). Este sector se caracteriza por poseer un bajo relieve drenado por ríos efímeros y por el río Quinto, siguiendo un lineamiento tectónico (Zárate y Tripaldi, 2012). El subsuelo consiste de cuencas tectónicas (Villa Mercedes y Sub-Alvear) formadas durante tiempos permo-triásicos y rellenadas con espesores de hasta 2400 m, conformado por rocas sedimentarias y volcánicas mesozoicas-cenozoicas. Hacia el norte del río Quinto los depósitos eólicos son el techo del relleno sedimentario que rellena la cuenca General Levalle.

La unidad WPD incluye diversas dunas rodeadas por mantos eólicos discontinuos. Esta unidad está fundamentalmente formada por *blowouts* y por dunas estables vegetadas. Las geoformas eólicas consisten en *blowouts* y dunas parabólicas que muestran dos direcciones principales, revelando las paleovientos del sureste y noreste. Las arenas muestran variables proporciones de cuarzo y fragmentos rocosos con mayor abundancia de feldespato potásico (Sánchez y Blarasín, 1987; Tripaldi *et al.*, 2010 a). Los fragmentos rocosos son exclusivamente granos volcánicos con un porcentaje variable de pumita y vidrio (Zarate y Tripaldi, 2012).

La región norte de la unidad WPD está cubierta por arenas eólicas y mantos limo-arenosos con pequeñas dunas asociadas a corrientes de agua efímeras. Al norte del río Quinto la componente eólica está representada por dunas de variados tamaños conformando dunas parabólicas acrecionadas por paleovientos del noreste.

### ***Paleobanico del río Quinto***

Es un ambiente presente dentro de la Planicie Eólica Arenosa del Sur (Fig. 2.5). Según Carignano *et al.* (2014) cubre una superficie de aproximadamente 4000 km<sup>2</sup> y está conformado por un conjunto de paleocanales y paleoderrames del Pleistoceno tardío-Holoceno, cuya expresión topográfica está muy disipada por acumulación y/o deflación eólica asociada al desarrollo del manto arenoso policíclico del Mar de Arena Pampeano (Iriondo 1990 a, b y c; 1999). Se extiende aproximadamente desde los 380 m s.n.m. al oeste, hasta los 150 s.n.m., al este de los bañados de La Amarga y tiene en general muy bajo gradiente, del orden de 0,3–0,1 % y desniveles locales no superiores a 3–4 m, asociados fundamentalmente a formaciones medanosas (Carignano *et al.* 2014). Se destacan dos ápices principales, uno en la Provincia de San Luis próximo al límite con Córdoba (Justo Daract), cuando el río atraviesa el sector pedemontano meridional de las Sierra de

Comechingones y, el otro, 8–10 km aguas abajo de Villa Sarmiento, previo al ingreso a los ambientes centro-orientales más deprimidos. El abanico más occidental se reconoce solo al sur del cauce actual, el cual está controlado por un lineamiento de rumbo NO-SE (Kostadinoff y Gregori 2004), y está integrado por paleocanales NO-SE y ONO-E-SE, de moderada sinuosidad, cuya anchura varía entre 80 y 130 m, y por otros secundarios de 20–30 m de ancho. Los de mayor grado de preservación se sitúan entre la presa Los Chañares y Villa Sarmiento, constituyendo bajos muy suaves de 1–2 m de desnivel local, cubiertos por mantos de arena removilizados y algunas dunas parabólicas dispersas estabilizadas. Hacia el sudeste (Del Campillo, Nicolás Bruzone, Mataldi, Jovita) los paleocanales están parcialmente cubiertos por dunas longitudinales de orientación SE-NO y en algunos sectores deflacionados y ocupados por lagunas interconectadas alimentadas por aporte freático, coexisten en el paisaje lagunas de orientación similar ubicadas en los corredores de deflación interdunas, resultando un mosaico complejo de bañados, suelos salinos y lagunas de origen fluvial, eólico y mixto. En general estos ambientes deprimidos tienen dimensiones de 500–600 m de ancho y una longitud variable entre 2 y 7 km (Carignano *et al.* 2014).

El segundo paleoabanico está mejor representado al noreste del cauce actual y está conformado, principalmente, por paleocanales de sinuosidad media y orientación SO-NE y O-E cubiertos por depósitos eólicos removilizados y dunas parabólicas (0,5–1,5 km de eje mayor). Los paleocanales fueron parcialmente cubiertos y deflacionados durante el ciclo árido del último máximo glacial (UMG). Algunos de ellos están ocupados por lagunas y bañados. El más moderno de los paleoabanicos es aquel desarrollado en forma previa al ingreso del río Popopis a los bañados de La Amarga, y está conformado por algunos paleocauces mayores y cursos menores de desbordes. Este extenso humedal, que actuaba como área de descarga de este curso, desde hace algunas décadas, asociado a ciclos húmedos y canalizaciones, constituye un área de tránsito, donde el río ha incidido 6–7 m y, presenta saltos y rápidos de erosión retrocedente (Degiovanni 2008; Degiovanni *et al.* 2005, 2014; Becher Quinodoz, 2014).

### ***Depresión Curapaligüe – Saladillo***

Es una extensa área deprimida (150–115 m s.n.m.) de orientación SO-NE que colecta gran parte del drenaje proveniente del sur de las Sierras de Córdoba y de la región comprendida entre los ríos Tercero y Quinto, conduciéndolo a través del río Saladillo hacia el río Carcarañá (Carignano *et al.* 2014) (Fig. 2.5). En ella se alojan una serie de humedales interconectados, entre los que se destacan de norte a sur los bañados del Saladillo, el sistema lagunar La Brava-Santa Ana-La Chanchera y el bajo de Curapaligüe. Según Cantú y Degiovanni (1984) y Degiovanni *et al.* (2005), es esta una depresión estructural asociada a la falla Bajos del Saladillo (de posible actividad cuaternaria). El

relieve de la depresión es plano-cóncavo con pendiente general hacia el noreste y su eje se sitúa hacia el margen sudeste, al pie de un desnivel topográfico que varía de 6 a 8 m en su extremo norte, y que disminuye hasta hacerse imperceptible en el sur. La falla fue indicada por Pasotti (1991), a partir de la identificación en fotografías aéreas de paleocauces divagantes del río Saladillo, que fueron abandonados por interrupción del escurrimiento hacia el este.

La depresión presenta un relieve complejo, resultante de la yuxtaposición de geoformas fluviales, eólicas y palustres-lagunares generadas en diferentes períodos climáticos del Cuaternario. Las morfologías fluviales, de orientación preferencial SO-NE, corresponden a paleocauces de los ríos Quinto (mayoritariamente) y Cuarto (en menor medida) que han sido asignados a los subestadios húmedos del Estadio Isotópico 3 (EIO 3) (65/60–30/25 ka; Cantú y Degiovanni 1984 y 1987; Degiovanni *et al.* 2005; Iriondo y Krohling 2007).

Las geoformas eólicas están representadas por campos de dunas longitudinales y parabólicas y formas de deflación sobreimpuestas de edad Pleistocena y Holocena, relacionadas a eventos secos que van desde el Estadio Isotópico 4 (EIO 4) hasta la Pequeña edad de Hielo (Iriondo *et al.* 2011; Iriondo y Brunetto 2008; Degiovanni *et al.* 2005). Los sistemas interconectados de lagunas y bañados constituyen los rasgos más representativos de la unidad, y se instalan en las depresiones de origen eólico y fluvial, producto del mejoramiento vinculado al *Optimum Climaticum* del Holoceno y al clima actual. Además, según Cantú y Degiovanni (1984) y Degiovanni *et al.* (2005) también podrían relacionarse con la generación de condiciones de drenaje impedido por posible actividad neotectónica en el Pleistoceno tardío. Como resultado de estos procesos, no se observan morfologías primarias puras, sino rasgos disipados por erosión, sedimentación y anegamiento (Carignano *et al.* 2014).

Los paleocanales del río Cuarto tienen una dirección NO-SE y se localizan en la mitad norte de la unidad (al oeste de la laguna La Brava, localidad de Olmos), mientras que los del Quinto, de orientación SO-NE, dominan en el sector centro-sur (Ruiz Díaz de Guzmán, Laboulaye, Curapaligüe). Según Carignano *et al.* (2014) en ambos casos se trata de cursos sinuosos, ocupados por lagunas permanentes o temporarias, cuya anchura y profundidad se ha modificado marcadamente por la sucesión de ciclos de anegamiento y deflación. Hacia el borde occidental de la depresión, las lagunas se disponen en rosario siguiendo el eje de los paleocanales siendo en general pequeñas y elongadas (0,6/1 x 0,3 km). En los sectores más deprimidos, las formas fluviales se desdibujan totalmente y se solapan lateralmente (deflación, colmatación) alojando cuerpos lagunares de mayores dimensiones (hasta 7–8 km de eje mayor) como La Chanchera y Santa Ana.

Las lagunas asociadas a formas eólicas primarias (Cantú y Degiovanni, 1987), tienen en general orientación más regular, SO-NE, y se corresponden con corredores entre dunas longitudinales y cubetas de deflación aisladas o asociadas a dunas parabólicas. En general todos los cuerpos lagunares son poco profundos y los de mayor superficie, exhiben lunetas de arcillas en diversas posiciones indicando la alternancia de ciclos húmedos y secos (Carignano *et al.* 2014).

### ***Planicie sudoriental con campos de dunas***

Según Carignano *et al.* (2014) el paisaje de la subunidad está dominado por las megadunas parabólicas y longitudinales, cubriendo en forma discontinua una superficie general sumamente horizontal (Fig. 2.5). Estas alternan con depresiones que corresponden a tramos de grandes paleocauces generados durante el EIO 3 y pertenecientes a una paleored fluvial muy probablemente desarrollada por el río Popopis (Iriondo y Krohling, 2007). Actualmente dichas depresiones están transformadas en cañadas y lagunas encadenadas con orientación SO-NE (Fig. 2). Otras depresiones fueron producidas por deflación y afectando el interior de dichos paleocauces. Respecto al origen de la cañadas del área, Ferpozzi (1988a) interpreta que se trata de bajos o depresiones longitudinales heredadas de paleorrelieves eólicos y que en las condiciones morfogenéticas actuales funcionan concentrando el escurrimiento. Iriondo y Krohling (2007), en cambio, deducen un primer origen fluvial para las mencionadas cañadas. En el resto del área, los interfluvios en general corresponden a extensas áreas planas y prácticamente horizontales o con pendientes poco perceptibles debido a la disipación casi total de las megadunas del EIO 4 (Krohling 1998). Su superficie fue cementada por procesos pedogénicos y epigenéticos (calcreta), dificultando la infiltración del agua de lluvia y favoreciendo la formación de bañados (Carignano *et al.* 2014). Esta superficie poligenética se encuentra cubierta por dunas disipadas o un manto policíclico de arena eólica en el área ubicada inmediatamente al sur de La Cesira y al este de Laboulaye (sector Leguizamón-Rosales), extendiéndose en el área ocupada por la laguna La Picasa, en el sudoeste de Santa Fe. La existencia de una calcreta en el tope de los depósitos de disipación eólica limitó la deflación en los eventos semiáridos subsiguientes. Las dunas generadas durante el EIO 2 son en general regulares, de centenas de metros de longitud y dirección principal sur-norte, que han colmatado parcialmente los cauces de los ríos Tercero y Quinto. Las depresiones eólicas generadas a fines del Pleistoceno tardío tienen forma generalmente circular o elíptica con clara orientación SO-NE. Bajo el clima actual se encuentran en general anegadas y afectadas por procesos limnológicos. Algunas hoyas presentan lunetas a sotavento de la depresión, Carignano *et al.* (2014).



### ***Campos de dunas Villa Valeria-La Oscura***

Según Carignano *et al.* (2014) esta subunidad es una extensa planicie cubierta por un gran campo de dunas (Fig. 2.5), que se extiende en las provincias vecinas de San Luis, La Pampa, Buenos Aires y Santa Fe (Planicie medanosa austral, González Díaz 1981; Llanura pampeana de arenas eólicas, Ramonell *et al.* 1993a y b; Región norte del Mar de Arena Pampeano, Iriondo y Krohling 1995; Campo de dunas pampeano occidental y central, Zarate y Tripaldi 2012). Abarca el sudoeste de Córdoba y es atravesada por el río Popopis por lo que también recibió el nombre de Llanura medanosa del río Quinto (Cantú y Degiovanni 1984). Se trata de una planicie suavemente ondulada a plana (pendientes del orden de 0,1–0,3 %) donde se destaca un campo de dunas longitudinales de dirección SE-NO y SSE-NN, en general con alto grado de disipación. Según su orientación y características geomorfológicas, esta unidad puede subdividirse en tres grandes áreas: un sector ubicado al norte del río Popopis, que conforma el campo de dunas de Laguna Oscura, y al sur de este el campo de dunas de Villa Valeria, que se divide en un sector occidental y en otro oriental (Blarasin y Sanchez 1987).

El campo de dunas de Laguna Oscura presenta un relieve ondulado (pendiente media 0,3–0,4 %) donde se destacan dunas parabólicas de diferentes tamaños, originadas por vientos de dirección NE-SO, sobreimpuestas a un campo de dunas longitudinales de orientación SO-NE. Todo el conjunto está compuesto por arenas muy finas cuya composición mineralógica indica área de proveniencia mixta, andina y pampeana (Ramonell *et al.* 1992; Iriondo y Krohling 1995; Zarate y Tripaldi 2012). Las dunas parabólicas se presentan aisladas o bien formando dunas compuestas, y están rodeadas de mantos de arena removilizados. Las formas de mayores dimensiones alcanzan hasta 5 km de longitud de eje mayor, las intermedias entre 1 y 1,5 km y las más pequeñas 0,2–0,5 km; los desniveles locales son del orden de 5–8 m, en las más conspicuas.

La mayoría de estas dunas están asociadas a cubetas de deflación que, en muchos casos, están ocupadas por lagunas y bañados por lo general permanentes, de profundidad moderada y bordes muy vegetados, a excepción de las mayores que presentan bordes erosivos escarpados (Cantú y Degiovanni 1987). La mayor parte de las dunas parabólicas se encuentran estabilizadas por vegetación y por la presencia del nivel freático próximo a la superficie; no obstante hay sectores con reactivaciones que presentan cadenas de dunas barjanoides móviles sobreimpuestas (Blarasin, 1984).

La unidad no presenta una red de drenaje organizada y no hay rasgos de erosión hídrica, pero es área de descarga del arroyo Chajan, el cual es canalizado hasta la Laguna Oscura. Además, desde 1986, constituye el área de tránsito del canal del arroyo El Ají, hacia la Depresión de Curapaligüe.

Este curso desborda en sectores deprimidos al oeste de Fragueiro, mientras que en proximidades de Pretot Freire presenta un canal muy incidado, con procesos de erosión lateral y retrocedente activos (Degiovanni *et al.* 2014).

El Campo de dunas de Villa Valeria, sector occidental, se extiende desde el límite con la provincia de San Luis hasta una línea imaginaria que une Del Campillo con Huinca Renancó, desde los 290 hasta aproximadamente los 220 m s.n.m. El relieve es suavemente ondulado (desniveles locales de orden 2–3 m) y está dominado por dunas SE-NO, con alto grado de disipación, localmente retrabajadas y cubiertas por mantos arenosos y algunas dunas parabólicas dispersas (especialmente hacia el oeste). Los corredores interdunas están espaciados 1,5 a 2 km, pero en algunos sectores se hacen imperceptibles y se observan extensas áreas planas de disipación. Los corredores muestran la acción de reiterados ciclos de deflación que generan depresiones elongadas, en pocos casos subredondeadas, que alojan bañados y lagunas encadenadas, permanentes y temporarias (Cantú y Degiovanni, 1987), que se hacen más notorias hacia el este. En esta subunidad se reconocen algunos sistemas de escurrimientos superficiales encauzados en las depresiones intermedanos, destacándose el arroyo Quetru Luebu, de carácter permanente, que nace en un humedal de este origen y luego de recorrer aproximadamente 25 km, descarga en la laguna El 20. En los períodos secos todas las depresiones muestran bordes con eflorescencias salinas. En las últimas décadas con el avance de la frontera agrícola se han potenciado los procesos erosivos y de removilización de dunas y mantos de arena (Degiovanni *et al.* 2005; Tripaldi *et al.* 2010; Becher Quinodoz, 2014).

El Campo de dunas de Villa Valeria, sector oriental, se extiende desde los 220 hasta los 120 m s.n.m., presenta una pendiente muy tendida, relieve plano a plano-cóncavo, donde se destaca un sistema de dunas longitudinales de orientación SSE-NNO (100–130 km longitud, 2–3 km de anchura y 2 m relieve local) con un espaciamiento medio de aproximadamente 2,5 km y corredores de deflación ocupados por lagunas, bañados y playas salinas (Carignano *et al.* 2014). Algunos humedales también se localizan en paleocanales del río Quinto, los cuales fueron modificados por diferentes ciclos de deflación. Los cuerpos lagunares son elongados y se encadenan en estas depresiones, constituyendo las vías de drenaje superficial hacia el sudeste. Tal es el caso del río Popopis que interconecta las lagunas La Legua, Nelson y La Margarita en tránsito hacia las provincias de La Pampa y Buenos Aires (Cantú y Degiovanni, 1987; Degiovanni *et al.* 2005; Malagnino 1989). Esta situación hace que, dependiendo de los aportes del río Quinto y de los escurrimientos superficiales locales y los subterráneos, este sistema de lagunas presenten una alta dinámica, convirtiéndose en áreas de circulación de agua, sales y sedimentos hacia las provincias vecinas, por lo que tiene una importancia hidrológica de trascendencia regional. En toda la unidad



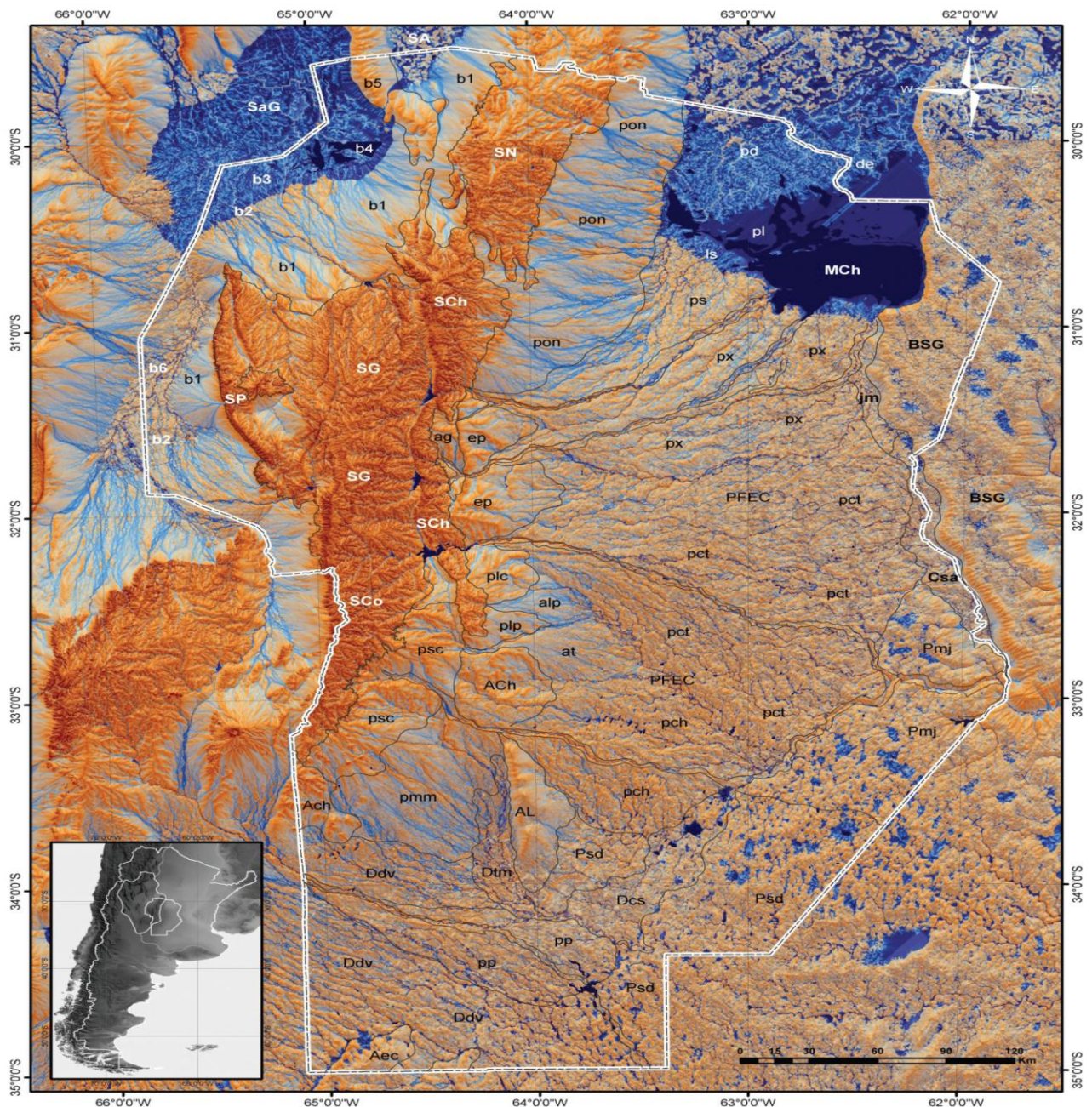
aflojan materiales arenosos finos asignados al Holoceno tardío (Formación Laguna Oscura, Cantú 1992), cuya procedencia es volcánico-clástica andina (Iriando y Krohling 1995).

### ***Alto El Cuero***

Según Carignano *et al.* (2014) es una morfoestructura asociada a la falla Lonco Vaca (Stappenbeck 1911) de rumbo NE-SO y, secundariamente, a fallas de orientación NO-SE (Degiovanni 2008, Elorriaga y Tullio 1998) (Fig. 2.5). Su altura varía desde 290 a 250 m.s.n.m. y su perfil transversal asimétrico permite inferir que la vertiente noroccidental sería una escarpa flexural, que presenta pendientes del orden de 2 a 0,5 % y desniveles locales máximos de 40 m, que decrecen hacia el noreste (15–20 m); mientras que la vertiente sudoriental es más tendida. Esta última se confunde con las geoformas de la llanura vecina. Al pie de la escarpa y en las depresiones internas se localizan lagunas, entre las que se destacan El Cuero, Tromel, Ralicó, El 20, todas ellas con bordes intensamente deflacionados y suelos salinizados. No se registran rasgos de escurrimientos superficiales encauzados, pero se destaca una red dendrítica, desorganizada, desarrollada sobre las calcretas. El alto El Cuero está cubierto por los materiales que conforman la unidad manto policíclico del Mar de Arena Pampeano (Iriando y Kröhling, 1995; Iriando, 1990 a, b y c, 1999), representado por campos de dunas disipadas y mantos de arenas removilizadas. Las dunas más antiguas (Pleistoceno tardío) tienen orientación SO-NE y se ubican en el sector sur; hacia el noroeste el relieve está conformado por un campo de dunas longitudinales SE-NO y, hacia el sudeste, se identifican algunas dunas parabólicas de dirección sur-norte (Holoceno tardío), parcialmente deflacionadas durante fases semiáridas-áridas posteriores (Carignano *et al.* 2014).

### ***Alto de Villa Huidobro - Huinca Renancó***

Según Carignano *et al.* (2014) se trata de una elevación de orientación SO-NE, con frente de levantamiento al noroeste (Fig. 2.5). Presenta un relieve moderado a suavemente ondulado, una altura de 220–180 m.s.n.m y un gradiente hacia el este de 0,4– 0,2 %. Una perforación hidrogeológica realizada entre Villa Huidobro y Huinca Renancó (Giordano, 2008), de 215 m de profundidad, no alcanzó rocas de basamento y atravesó una secuencia sedimentaria compuesta principalmente por margas, arcillas y capas de tosca, a excepción de los 3 m superiores compuestos por sedimentos arenosos finos a muy finos. En proximidades de la localidad de Huinca Renancó, en el borde oriental del alto, se exponen costras calcáreas, laminadas, con alto grado de diagénesis (Giordano, 2008) de edad miocena. Toda la unidad exhibe un relieve de dunas longitudinales de orientación SE-NO, pero las mejor preservadas se sitúan al noroeste de Huinca Renancó. En las cubetas de deflación y corredores interdunas se alojan lagunas, con bordes salinos, sujetas a deflación en períodos secos (Carignano *et al.* 2014).



**Figura 2.5:** Modelo digital del terreno de la Provincia de Córdoba (Carignano et al. 2014). Se observa el paleoabanico del río Quinto (pp) SN= Sierra Norte-Ambargasta. SG= Sierras Grandes. SCo= Comechingones. SCh= Sierras Chicas. SP= Sierras de Pocho-Guasapampa. SaG= Salinas Grandes. SA= Ambargasta. b1= Abanicos aluviales del piedemonte. b2= Campos de dunas y zonas con mantos de arenas o médanos aislados. b3= Barreales y playas salinas. b4=Lagunas salinas. b5= Elevaciones estructurales. b6= Depresión estructural con drenaje deficiente. MCh= laguna Mar Chiquita. pl= Planicie lacustre. ls=Campos de dunas Las Saladas-Campo Mare. de= Planicie aluvial distal y delta del río Dulce. pd= Paleodelta del río Dulce. jm= Depresión de Jeanmaire. PFEC= Planicie fluvioeólica central. ps= Paleoabanico aluvial del río Suquía. px= Paleoabanico aluvial del río Xanaes. pct= Paleoabanico aluvial del río Ctlamochita. pch= Paleoabanico aluvial del río Chocanchavara. pp= Paleoabanico aluvial del río Popopis. BSG= Bloque elevado de San Guillermo. pon= Piedemonte oriental norte. ep= Elevación Pampeana. ag= Valle Estructural Alta Gracia-San Agustín. plc= Bajada Los Cóndores. plp= Bajada Las Peñas. alp= Abanico aluvial del arroyo Las Peñas. at= Abanico aluvial del Arroyo Tegua. Ach= Alto estructural de Chaján. psc= Piedemonte oriental de la Sierra de Comechingones. AL= Alto estructural de Levalle. pmj= Planicie loésica de Marcos Juárez-Corral de Bustos. Csa= Depresión tectónica de la Cañada San Antonio. Dcs= Depresión Curapaligue-Saladillo. Psd= Planicie sudoriental con campos de dunas. ppm= Planicie arenosa de Moldes y Malena. Dtm= Depresión del Tigre Muerto. Ddv=Campo de dunas de Villa Valeria-Laguna Oscura. Aec= Alto El Cuero.

## HIDROGRAFIA SUPERFICIAL

### *Faja fluvial del río Popopis (Río Quinto)*

El río Popopis (Figs. 2.6 y 2.7), nace en las Sierras de San Luis, de la unión de los ríos Grande y Trapiche (embalsados en el dique La Florida, desde 1953), se dirige hacia el sudeste, atravesando el piedemonte de dicha sierra, donde se construyó el dique Paso de las Carretas (1982) y penetra en territorio cordobés, en las cercanías de la ciudad de Justo Daract (San Luis) (Carignano *et al.* 2014). En este tramo su traza es mayormente recta pero presenta algunos segmentos de mayor sinuosidad, ha excavado un valle de 1 a 1,5 km de anchura media que presenta niveles de terrazas (Ramonell *et al.* 1992). Su cauce discurre en una estrecha planicie aluvial con un marcado control estructural, que hacia aguas abajo, alcanza hasta 1,5 km de anchura. Aguas arriba de Justo Daract recibe las aguas del denominado “río Nuevo”, que drena el faldeo sudoriental de las Sierras del Morro y el área de Villa Mercedes, que aporta grandes volúmenes de sedimentos (en general finos) al colector. En su primer segmento, ya en la provincia de Córdoba, atraviesa una zona pedemontana cubierta por campos de dunas del Mar de Arena Pampeano, cuyas fuertes pendientes favorecen el entallamiento por erosión lineal retrogradante, que ha profundizado el valle (Quintana Salvat y Romero 1993). Próximo al límite interprovincial, la presa de regulación Los Chañares ha potenciado localmente la degradación del lecho aguas abajo, donde son comunes los rápidos y saltos en secuencias cohesivas pleistocenas (toscas). En la zona de Villa Sarmiento el cauce comienza a desarrollar un diseño meandriforme de alta sinuosidad que ocupa una planicie aluvial de unos 2 a 3 km de anchura, con un nivel de terraza asociado, que continua hasta alcanzar una depresión donde forma humedales y lagunas, conocidos como bañados de La Amarga (antiguamente, Laguna Amarga). Es en esta zona que durante eventos extremos secos, el río se subsume, desapareciendo superficialmente. Durante los eventos húmedos el río Popopis sobrepasa los bañados de la Amarga, y a través de una serie de paleocauces retrabajados por deflación eólica, se abre en dos direcciones. La primera hacia el noreste por el denominado “Brazo Norte” que aporta sus aguas al Bañado del Destino, en el límite de las provincias de Córdoba y Santa Fe; y una segunda, en dirección sureste, pasando por las localidades cordobesas de Jovita e Italo, a través del mucho más importante “Brazo Sur” para ingresar en la Provincia de Buenos Aires en las cercanías de Banderalo. Cuando esto sucede anega los territorios próximos a las ciudades de General Villegas, America, y Trenque Lauquen. Desde allí, con curso divagante, el río Popopis tuerce hacia el noreste para confluir con el río Salado bonaerense en las cercanías de Mechita (Carignano *et al.* 2014).

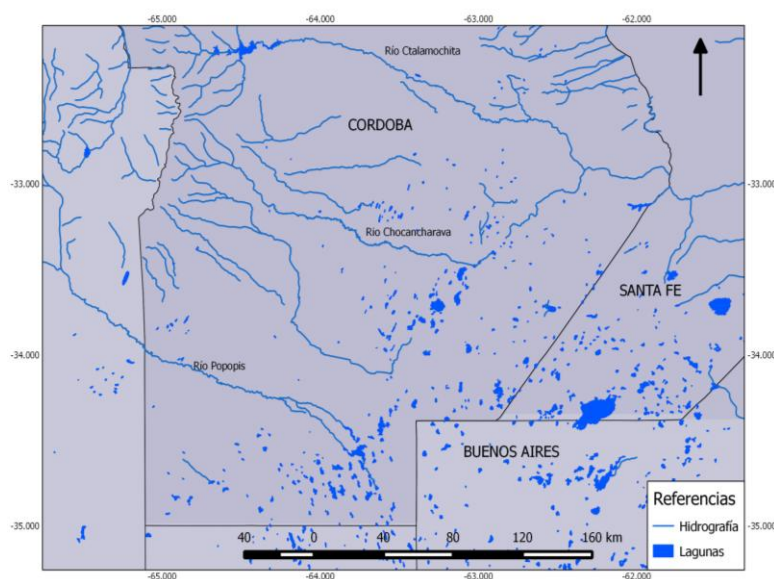


Considerando solo el componente endorreico, el río Popopis tiene una longitud de 375 km. Luego de reiteradas canalizaciones, los bañados de La Amarga constituyen un sector de tránsito, donde el río Popopis se ha profundizado marcadamente, con cabeceras de erosión retrocedente de hasta 2 m de altura (Becher Quinodoz, 2014). Del mismo modo, Cisneros *et al.* (2002) señalan marcados procesos de erosión lateral y profundización en el tramo comprendido entre Villa Sarmiento y el ingreso a los bañados.

Mediciones puntuales de aforos arrojan valores de caudales para estos últimos años, del orden de 22 m<sup>3</sup>/s para el ciclo húmedo y de 4 m<sup>3</sup>/s en estiaje (Becher Quinodoz, 2013).



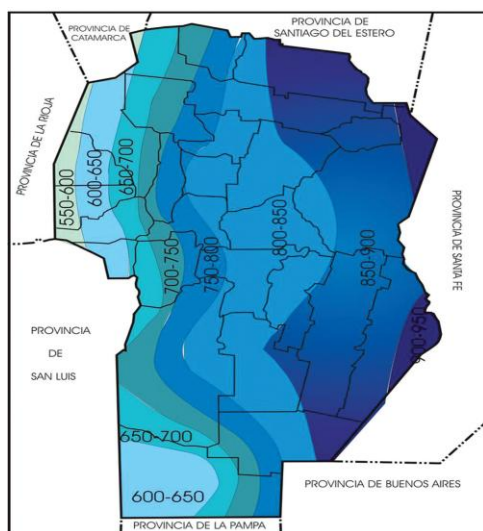
**Figura 2.6:** Vista al este del río Quinto o Popopis desde puente ruta n° 35.



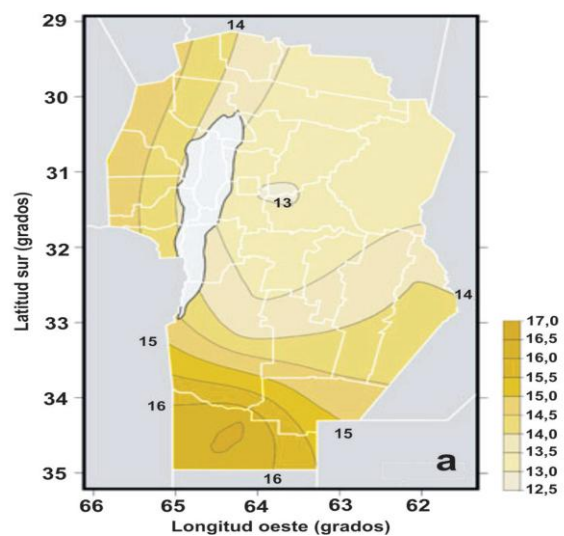
**Figura 2.7:** Red de drenaje del sur de la provincia de Córdoba.

## CLIMA

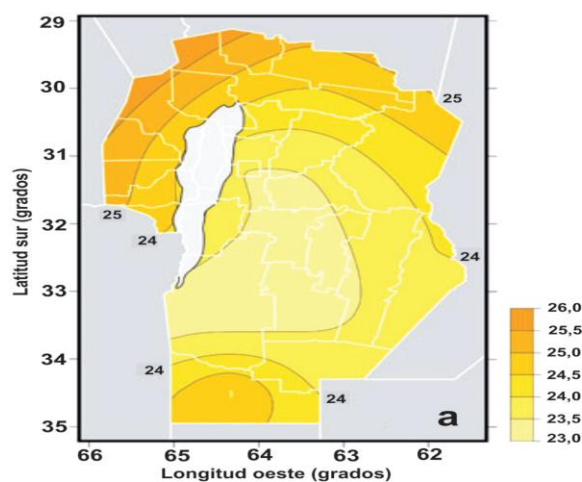
Presenta las características climáticas propias de un clima templado. El clima es estacional con temperatura media anual de 16.5 °C, variando de 9.5 °C en julio a 23.5 °C en enero (Figs. 2.10 y 2.11). La precipitación media anual es de 850 mm, disminuye hacia el oeste y está concentrada entre octubre y marzo (Fig. 2.8). El estrés hídrico ocurre principalmente entre agosto-septiembre y entre diciembre-enero debido a la escasa precipitación o a la elevada evapotranspiración respectivamente (Gorgas y Tassile, 2003). Posee una amplitud térmica de 16 °C (Fig. 2.9). Los vientos preponderantes son del sector norte, nordeste y sur, siendo agosto y los meses de primavera el período de mayor actividad eólica.



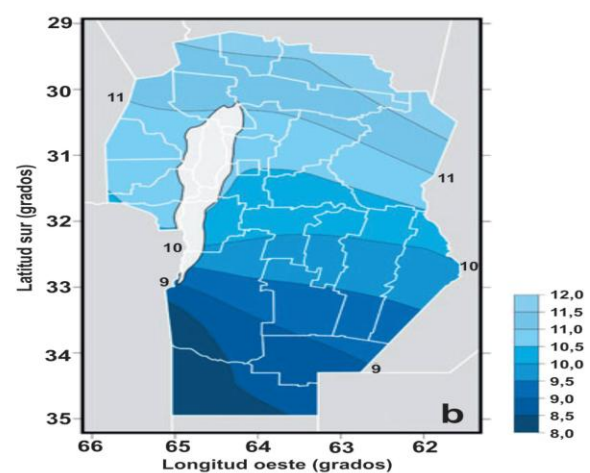
**Figura 2.8:** Precipitaciones Serie 1961-1990 (INTA-ACASE 2006).



**Figura 2.9:** Amplitud térmica anual (°C; 1961-1990) (Gorgas y Tassile, 2006).



**Figura 2.10:** Temperaturas medias de enero (°C; 1961-1990) (Gorgas y Tassile, 2006).



**Figura 2.11:** Temperaturas medias de julio (°C; 1961-1990) (Gorgas y Tassile, 2006).

SUELOS

Según Jarsún *et al.* (2003, 2006) en los suelos del sur de la provincia de Córdoba predominan los Molisoles sobre los Alfisoles y Entisoles (Fig. 2.12). Este autor realiza una división de la zona en tres unidades geomorfológicas (Pampa Medanosa- Pampa Arenosa Anegable- Pampa Arenosa) y describe, mediante un perfil esquemático, los suelos predominantes para cada unidad. La Pampa Medanosa consiste en un tipo de paisaje de lomas medianosas con presencia de un relieve ondulado a suavemente ondulado y un predominio de **Molisoles** y **Entisoles**. El régimen de clima del suelo es ústico y el material originario es eólico, franco arenoso a arenoso. La Pampa Arenosa se caracteriza por un tipo de paisaje de llanura con relieve de loma muy suavemente ondulada con un dominio pedológico de **Molisoles**. Su régimen de suelo climático es un údico y su material originario es eólico, franco arenoso fino. La Pampa Arenosa Anegable, tal como su nombre lo dice, posee un clima de suelo ácuico, un relieve plano-cóncavo y posee un dominio pedológico pertenecientes a **Alfisoles** y **Molisoles**. Posee un tipo de paisaje de cuenca cerrada y el material originario es franco arenoso intercalado con sedimento fino fluvial. (Fig. 2.12).

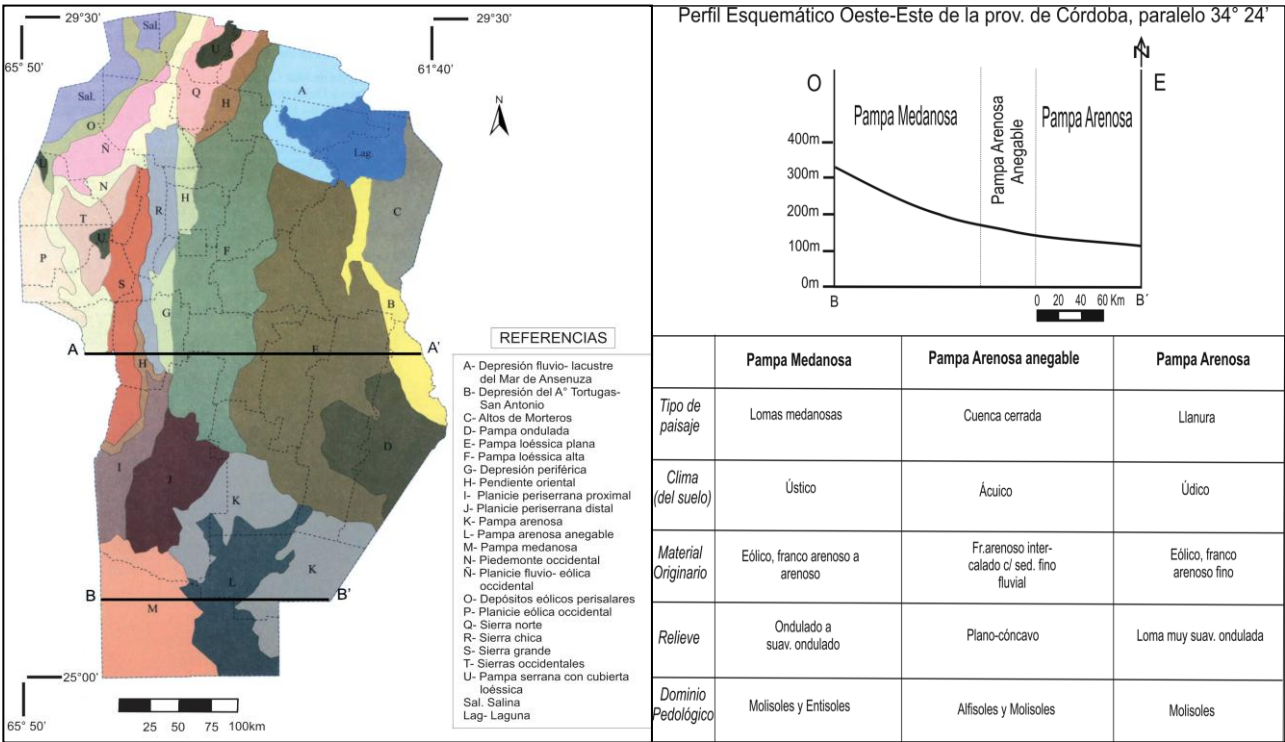


Figura 2.12: Suelos del sur de la Provincia de Córdoba y perfil esquemático Oeste-Este (Jarsún *et al.* 2006).



## VEGETACIÓN

En cuanto a la vegetación, el área presenta pastizales pampeanos de ambientes semiáridos. Sobre los suelos de textura más fina abundan la paja brava (*Stipa brachychaeta*), las flechillas (*Stipa tricotoma*, *Stipa spp*) y otras especies. En las zonas menos estabilizadas, son frecuentes las estepas de junquillo (*Sporobolus rigens*) y tupe (*Panicum urvilleanum*), acompañados frecuentemente por un arbusto, el olivillo (*Hyalis argentea*) (Fig. 2.13). El déficit hídrico creciente hacia el suroeste, las limitantes edáficas (salinidad y textura) y los incendios son los principales factores de control. (Subsecretaría de recursos Hídricos). Junto a los ríos y los bañados crecen siempre juncos y cortaderas debido a una mayor humedad; entre las especies flotantes aparece principalmente la lenteja de agua.

En las áreas menos salinas y con menor desarrollo antrópico, la vegetación arraigada generalmente cubre, en parches y con extensión variable, la superficie de las lagunas.



**Figura 2.13:** Vegetación observada en control de campo. En las zonas costeras, los Juncos se encuentran bordeando las lagunas.

## AGUAS SUBTERRÁNEAS

Al sur de la provincia de Córdoba, dominan las direcciones de flujo subterráneo noroeste-sudeste (Blarasin *et al.* 2014) (Fig. 2.14).

Los sectores más alejados de la sierra, debido al trayecto recorrido y bajos gradientes hidráulicos, muestran aguas de elevada salinidad (7.000 a 44.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Fig. 2.15). Las áreas llanas sudorientales exhiben valores de conductividad eléctrica entre 7.000 y 30.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En la llanura arenosa aledaña al río Popopis, especialmente al sur del curso de agua, se observa elevada salinidad que, según Becher Quinodoz (2012), está vinculada a la evolución de flujos subterráneos que proceden de la provincia de San Luis. Las localidades de Huinca Renancó, Villa Huidobro, Mattaldi, General Levalle, Laboulaye, Huanchilla, La Cautiva, Pacheco de Melo, El Rastreador, Assunta, entre otras, están insertas en ámbitos de aguas subterráneas saladas.

En la faja fluvial del río Popopis, se da un ambiente acuífero pobre, de permeabilidad y transmitancia moderadas-bajas (4 m/d y 250  $\text{m}^2/\text{d}$ , respectivamente), con valores de capacidad de almacenamiento (S) del orden de 10–15 % (Bécher Quinodó, 2012). Franklin Consult (1985) indica valores de  $K = 6$  m/d y  $S = 16$  % para Villa Sarmiento, ubicada a orillas del río Popopis. Las perforaciones extraen caudales menores a 10  $\text{m}^3/\text{h}$  dominando las de 1–5  $\text{m}^3/\text{h}$ , con variables tenores de sales (1–4 g/L).

En la llanura medanosa con dunas longitudinales situada al sur de Villa Valeria- Del Campillo, el acuífero intercala estos sedimentos eólicos arenosos muy finos y sueltos con capas cementadas con carbonatos (calcretos). Las  $K$  media de estos depósitos son del orden de 2–4 m/d y  $S$  del orden de 14 % (Bécher Quinodó *et al.* 2013). Franklin Consult (1985) indica valores similares ( $K=7$ –10 m/d y  $S= 8$  a 21 %) en Huinca Renancó, Villa Valeria y Villa Huidobro, obtenidos mediante ensayos de bombeo.

Las profundidades del nivel freático son muy bajas, del orden de los 2,5 a 5 m (Blarasin *et al.* 2014), (Fig. 2.16).

La región Chaco-Pampeana ubicada en el este y sureste de la provincia de Córdoba presenta concentraciones muy altas de As en agua subterránea, que en general están muy por encima de los límites permitidos por las normativas internacionales. El 70% de la extensión de la región presenta acuíferos con concentraciones de arsénico no aceptable para agua potable. Esta región presenta además una muy alta variabilidad espacial (horizontal y vertical) en las concentraciones de As (Francisca *et al.* 2006).



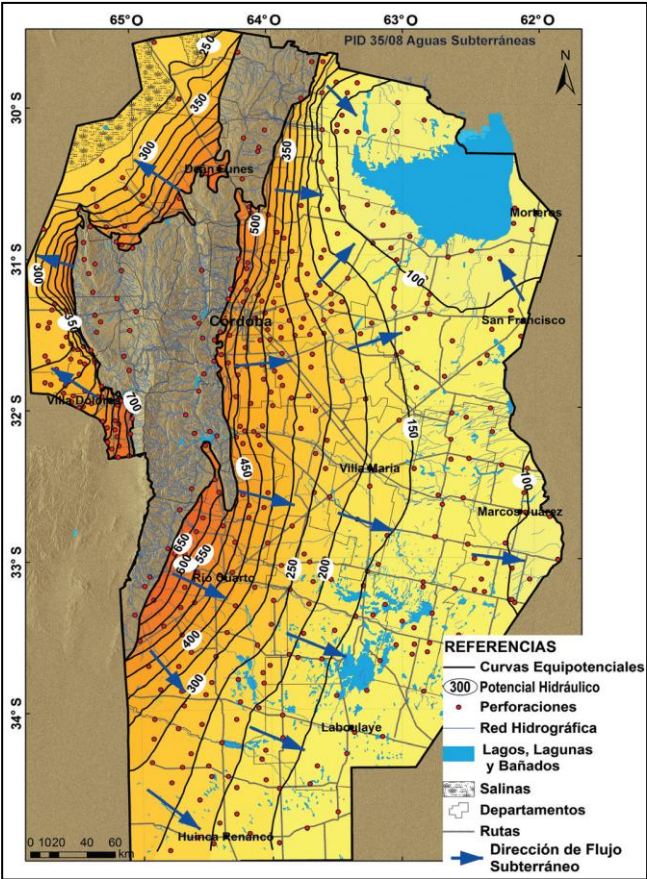


Figura 2.14: Dirección de Flujo Subterráneo (Blarasin et al. 2014).

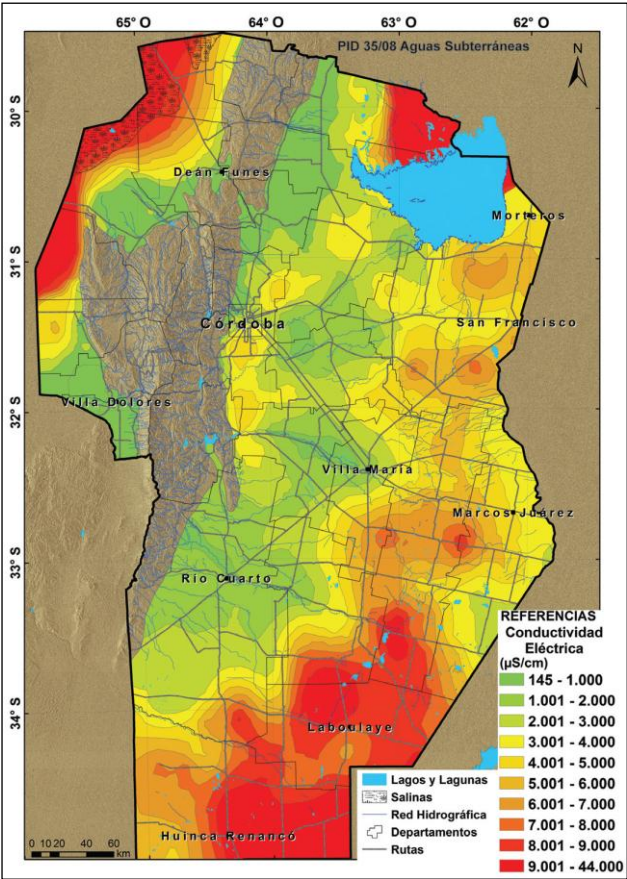


Figura 2.15: Conductividad Eléctrica (Blarasin et al. 2014).

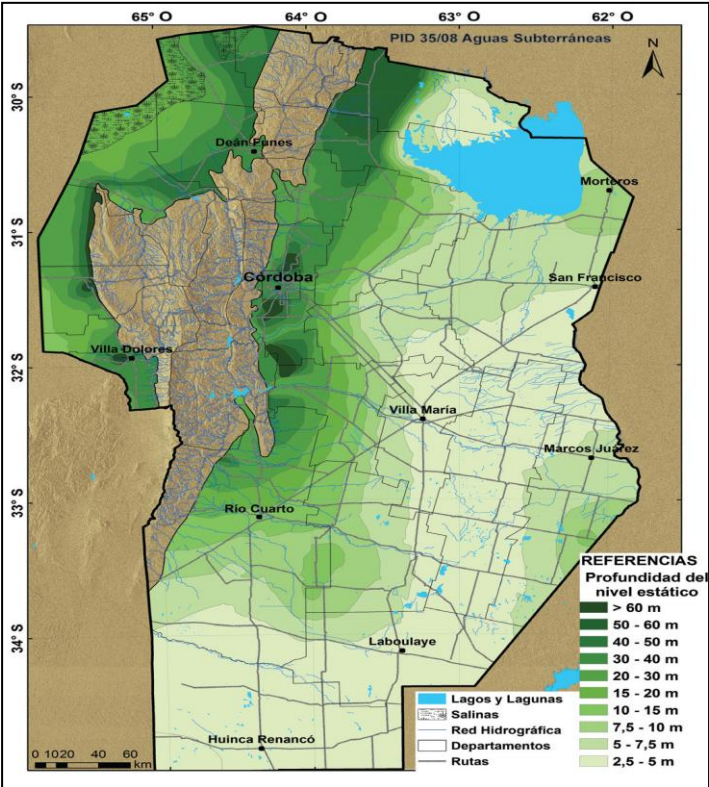
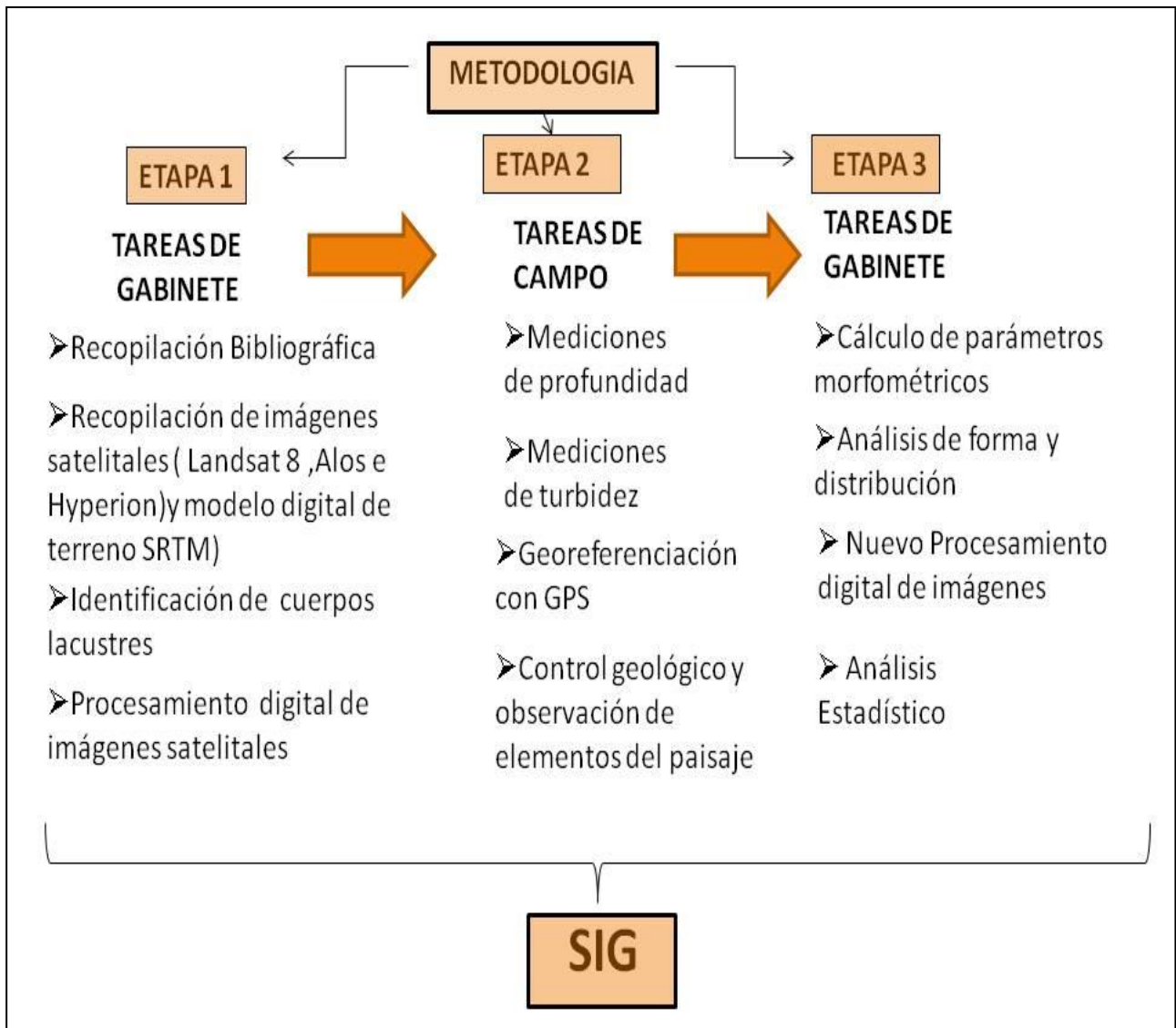


Figura 2.16: Profundidad del nivel freático. Para el Sur de Córdoba este se encuentra muy próximo a la superficie (Blarasin et al. 2014)

### III. TERCER BLOQUE

#### MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se implementó una metodología dividida en tres etapas consistentes en trabajos de gabinete y en un control de campo correspondiente, los cuales son detallados a continuación (Fig. 3.1).



**Figura 3.1:** Esquema Metodológico.

## Materiales de Gabinete

### -Softwares

\**QGis* (<http://www.qgis.org/es/site/>)

Se optó por la utilización de un sistema de información geográfica (SIG) denominado QGIS. Este software de código libre permite trabajar en formatos vectoriales, *raster* y gracias a las opciones que brinda fue la herramienta de trabajo para la construcción de una base de datos con almacenamiento de la información. El uso de sus herramientas permitió realizar el cálculo de los parámetros morfométricos básicos del sistema de humedales en cuestión. Además fue el programa base para la identificación de los cuerpos lagunares, el procesamiento digital de bandas espectrales y la construcción de mapas de la zona de trabajo.

Un Sistema de Información Geográfica (en inglés, Geographic Information System o GIS) es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados según su localización geográfica. Constituye una herramienta para la entrada, almacenaje, manipulación y salida de información geográfica (Noe *et al.* 2014). Son utilizados para manipular, resumir, consultar, editar, visualizar, información almacenada en bases de datos informatizadas.

Las seis partes fundamentales de un SIG son (Noe *et al.* 2014) (Fig. 3.2):

- Tecnología
- Datos – Información
- Métodos
- Organizaciones
- Cuerpo de ideas
- Red



**Figura 3.2:** Partes fundamentales de un SIG.

La tecnología es un componente del SIG, que viene definido por el software y el hardware. Esto incluye un conjunto de procesos que son la base de un software SIG, que consisten en una serie de algoritmos que sirven para acceder, presentar, analizar y sintetizar los datos almacenados en la base de datos, en función de sus atributos espaciales y también no espaciales. El hardware se centra en la plataforma informática y tiene dispositivos periféricos de entrada y salida (Noe *et al.* 2014).



Los datos son la parte del SIG mediante la cual representamos la realidad y a su vez, permite enlazarla a situaciones y aplicaciones específicas. Se los almacena como códigos digitales en bases de datos.

Los métodos son procedimientos independientes o normas para llevar a cabo diferentes tareas relacionadas con el diseño, creación y funcionamiento de los SIG.

Un SIG sólo tiene sentido en el contexto de una organización. La organización está formada por una gran variedad de componentes, definidos como el conjunto de objetivos, procesos, gestión, operadores y personal.

El cuerpo de ideas que se esconde detrás de los SIG es el conjunto de ciencias, procesos, etc. que determinan el avance, el desarrollo y uso de los SIG.

La red es cada vez más considerada un componente fundamental de los SIG, ya que permite la comunicación y compartir información de forma rápida y eficaz.

La información dentro del sistema puede estar estructurada en una de dos formas básicamente: **formato raster** y **formato vector** (Fig. 3.3).

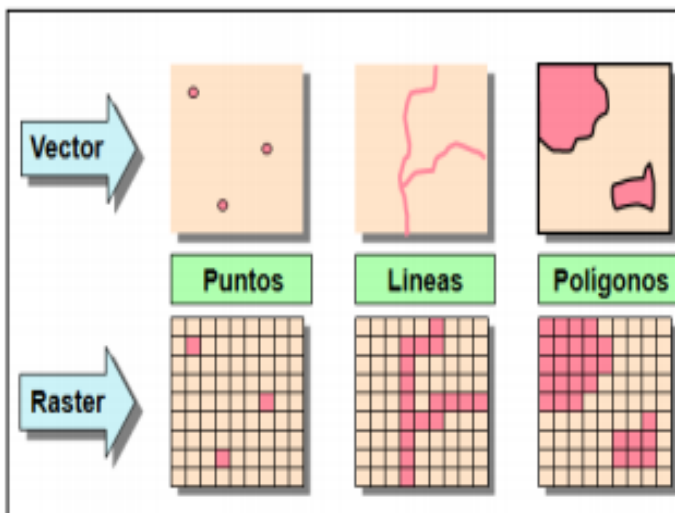


Figura 3.3: formato Raster y formato Vector.

El formato *raster* es una simple malla o matriz de celdas, en donde cada posición tiene los atributos de un punto en particular. Es un conjunto de datos geográficos cuyos valores son asignados a una matriz rectangular de celdas en dos dimensiones. El plano está cubierto por celdas organizadas en filas y columnas. En una matriz *raster* simple, cada celda almacena solamente un valor.

El formato vector (Fig. 3.4) asume un espacio de coordenadas continuo, permitiendo localizar todas las posiciones, longitudes y dimensiones de manera precisa. En este formato los rasgos naturales son representados por medio de puntos, líneas o polígonos (Burrough, 1993). Así, los datos

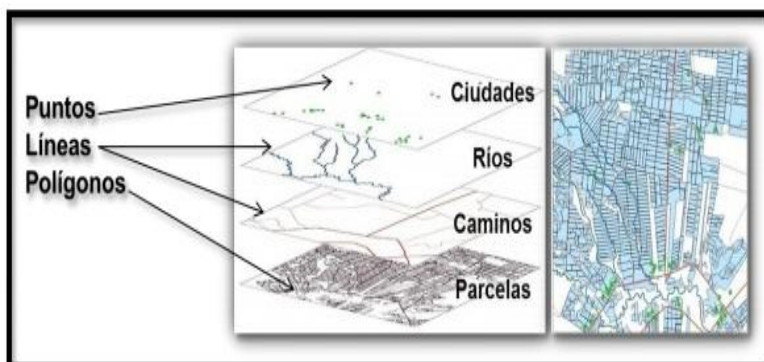


Figura 3.4: Formato vector representado por puntos, líneas o polígonos.

vectoriales representan las entidades a partir de pares de coordenadas (XY). Un punto, se define a partir de un único par de coordenadas mientras que, líneas y polígonos se definen a través de un conjunto de pares de coordenadas interconectados.

*\*Global Mapper- Versión Prueba (<https://www.blumablegeo.com/products/global-mapper.php>)*

Es un sistema de información geográfica que analiza y convierte tanto datos vectoriales, *raster*, KLM, y de elevación. Es adecuado como herramienta de gestión de datos espaciales. Global Mapper incluye la posibilidad de acceder directamente a varias fuentes en línea de imágenes, mapas topográficos, y los datos de modelo de elevación del terreno (DEM).

*\*Infostat – Versión estudiantil (<http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=37>)*

Es un software para análisis estadístico de aplicación general. Cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado. Permite importar y exportar bases de datos en formato Paradox, texto, dbase, Excel. Posee rápido acceso a herramientas para el manejo de datos como por ejemplo editar fórmulas, transformar, clasificar y categorizar variables y generar variables aleatorias mediante el uso de la simulación.

### **-Imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales fueron obtenidas a través del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS: <http://earthexplorer.usgs.gov/>). Se hizo uso de las imágenes LANDSAT, ALOS e imágenes HYPERION. Todas las imágenes se hallaban georreferenciadas al momento de su adquisición.

### **-LANDSAT**

Es un sensor multiespectral que toma imágenes espectrales. *LANDSAT 5 (TM)*, Captura imágenes desde el año 1984 hasta la actualidad, el ancho de la escena es alrededor de 180 Km<sup>2</sup> y posee 7 bandas espectrales (Tabla 3.1).

TM y ETM+ Bandas Espectrales								
Anchura de banda (µm) Anchura Mínima – Anchura Máxima								
Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
TM	0.45 -0.52	0.52 -0.60	0.63 - 0.69	0.76 - 0.90	1.55 - 1.75	10.4 - 12.5	2.08 - 2.35	No existe
ETM+	0.45 -0.52	0.53 -0.61	0.63 - 0.69	0.78 - 0.90	1.55 - 1.75	10.4 - 12.5	2.09 - 2.35	.52 - .90
Región	Visible azul	Visible Verde	Visible Rojo	Infrarrojo Próximo	Infrarrojo Lejano	Térmico Lejano	Térmico próximo	Visible

**Tabla 3.1:** Bandas espectrales LANDSAT TM Y ETM+.

*LANDSAT 7 (ETM)*, a diferencia del *LANDSAT – TM*, captura imágenes pancromáticas con 15 metros de resolución y dos imágenes termales en una en ganancia baja y la otra en ganancia alta, cubren un área aproximada de 180 Km<sup>2</sup>.

Las imágenes satelitales *LANDSAT 8* constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (Tabla 3.2). El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (Ariza, 2013).

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)  February 11, 2013	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	*Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

**Tabla 3.2:** Bandas LANDSAT 8 (Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS, 2013).

### **-ALOS**

Las imágenes satelitales capturadas por el satélite Japonés ALOS (Advanced Land Observing Satellite) lanzado en el año 2006 son captadas por 3 sensores: VNIR, PRISM y PALSAR.

En el caso del sensor VNIR, este capta imágenes multispectrales, que poseen las bandas del visible y el infrarrojo cercano, con una resolución de 10 metros. Cada imagen tiene una extensión de 70\*70 Km<sup>2</sup>. Tiene aplicación en el área medioambiental, clasificación de suelos y seguimiento de desastres naturales, por su alta capacidad de revisita (2 días).

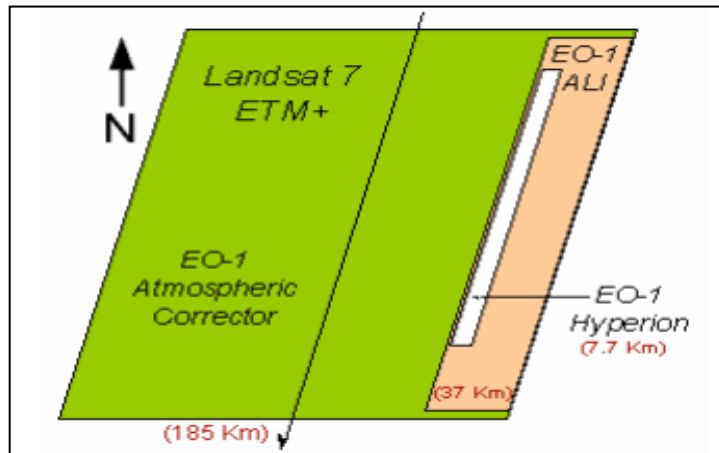
A diferencia del sensor anterior, el PRISM capta imágenes pancromáticas y se destaca por la resolución espacial que estas poseen de 2.5 metros y porque cada escena contiene 3 perspectivas (nadir, hacia atrás y hacia delante), con una superficie común de 35\*35 Km<sup>2</sup>, de manera que permite hacer estereoscopía y generar modelos digitales de elevación de alta precisión.

El sensor PALSAR, es un sensor activo de RADAR, con una resolución variable de 10 a 100 metros. Este sensor permite captar escenas a través de las nubes, bruma, niebla o humo, tanto de día como de noche. Por lo tanto, es ideal para realizar estudios en áreas tropicales o polares. También son utilizadas en la geología, movimientos en masa, aplicaciones marítimas, entre otros. Informa sobre el relieve, y brinda la posibilidad de obtener DEMS.

### **-HYPERION**

Este sensor se encuentra a bordo del satélite EO-1, Hyperion es el primer sensor hiperespectral a bordo de un satélite, tienen 220 bandas, las cuales abarcan el rango espectral de a los 356 a 2577

nm, con una resolución espacial de 30 metros, gracias a su resolución espectral se puede hacer mapeos detallados de cobertura vegetal, minerales, etc. (Figura 3.5).



**Figura 3.5:** Comparación del tamaño de las escenas de LANDSAT y los sensores del satélite EO-1.

**-Google Earth:** Es un software que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital. El programa fue creado bajo el nombre de *EarthViewer 3D* por la compañía Keyhole Inc, financiada por la Agencia Central de Inteligencia. El mapa de Google Earth está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por Imagen satelital, fotografía aérea e información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo.

**-Modelo digital de elevación (DEM):**

Se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. De forma general, la unidad básica de información en un MDE es un valor de altitud, *z*, al que acompañan los valores correspondientes de *x* e *y*, expresados en un sistema de proyección geográfica para una precisa referenciación espacial (Felicísimo, 1994). El mismo se obtuvo a través de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

**-SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>**

La Misión Topográfica Shuttle Radar (acrónimo en inglés **SRTM**, de *Shuttle Radar Topography Mission*) es un proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial, NGA, y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA. Su fin es obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre 56 °S a 60 °N, de modo que genere una completa base de mapas topográficos digitales de alta resolución de la Tierra. Esta base cartográfica ha sido ampliamente utilizada en diferentes campos del conocimiento relacionados con la geomática al poderse descargar gratuitamente a través de Internet a resolución de las celdas de los datos fuente

es de 1 segundo de arco, sobre Estados Unidos y en el resto del mundo, 3 segundos de arco. Cada parte de tres segundos de arco tienen 1201 filas, y cada fila consiste en 1201 celdas de 16 bits.

#### **- *SRTM Water Body Dataset***

Es un conjunto de datos de codificación geográfica de alta resolución de todo el mundo que identifica, describe y delimita las líneas de costas en un formato vectorial. Los archivos de datos SRTM Water Body Data son un subproducto consecuencia de la edición de datos realizada por la Agencia Internacional Geospatial-Intelligence (NGA) para producir el modelo digital de terreno (SRTM) *Digital Terrain Elevation Data Level 2* (DTED<sup>®</sup> 2). Los datos de elevación del terreno han sido modificados para representar los cuerpos de agua que cumplen con los criterios mínimos de captura. Líneas de costas de océanos, ríos y lagos fueron identificadas. Después de llevar a cabo este proceso, las líneas de costas del DTED<sup>®</sup> 2 se guardaron como vectores en formato vectorial ESRI Shapefile 3-D. Su obtención se realizó a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos a través de su página web haciendo uso de los servicios del Earth Explorer que este brinda (USGS: <http://earthexplorer.usgs.gov/>).

#### **Materiales para trabajo de campo**

- \* Disco de Secchi
- \*Varilla graduada y cuerda unida a un peso para medidas puntuales de profundidad.
- \* Cámara fotográfica
- \* GPS

#### **Métodos**

##### **Primer Etapa**

##### **-*Tareas de Gabinete:***

- \*Se procedió en primera instancia a la recopilación bibliográfica existente acerca del área de estudio. Posteriormente se realizó la búsqueda de información suministrada por sensores remotos (Imágenes LANDSAT, HYPERION, ALOS y Modelo digital de elevación, SRTM y SRTM Water Body Dataset).
- \*Se creó un proyecto en Qgis eligiéndose como sistema de referencia de coordenadas el EPSG: 4326, datum **WGS84** – World Geodetic System 1984.
- \*En base al SRTM Water Body Dataset se procedió a identificar los cuerpos de agua que ya se hallaban delineados gracias a la versión en formato vectorial de las lagunas que esta herramienta brinda.



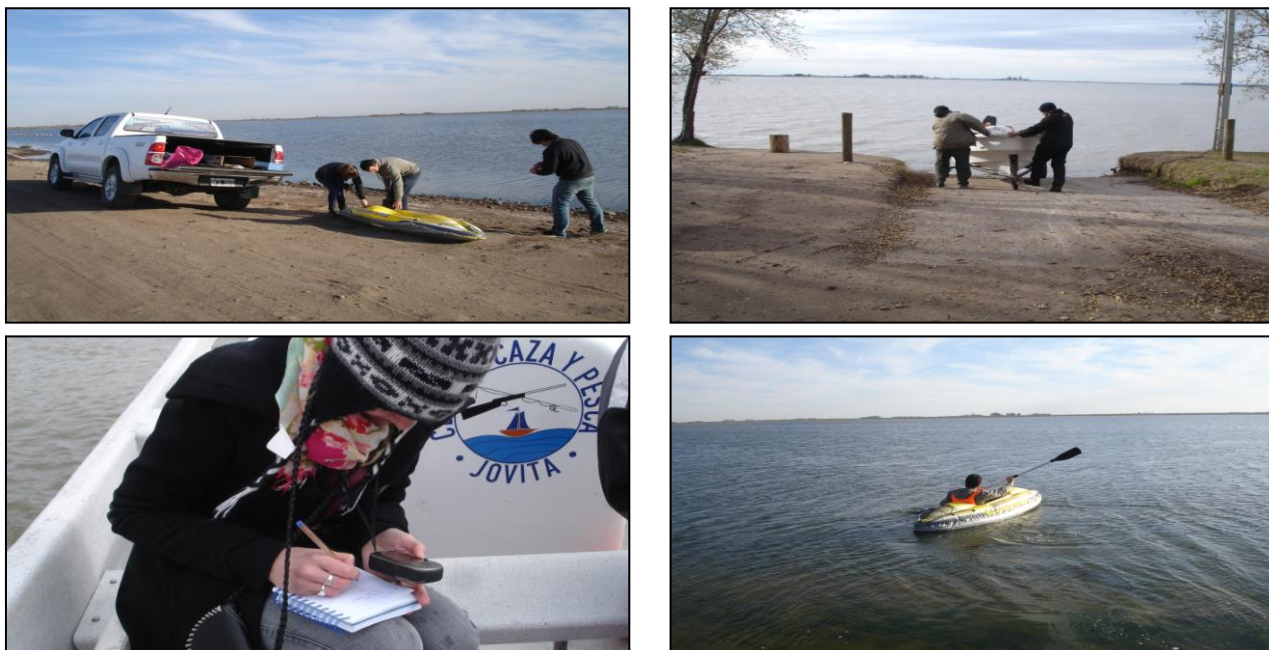
\* Se realizó un primer procesamiento digital de las imágenes satelitales a través de la combinación de bandas espectrales para un mejor reconocimiento de los cuerpos de agua. Se combinaron las bandas que mejor resaltaban las cualidades y características ópticas de los humedales para, de este modo realizar observaciones y analizar sus dimensiones, formas, desarrollo de la línea de costa, profundidad, materiales en suspensión, turbidez y presencia de materia orgánica. Para esto se manipularon las bandas apropiadamente para lograr de este modo una combinación en “falso color”, “color verdadero”, y combinación de bandas según las características a destacar.

## **Segunda Etapa**

### ***Tareas de Campo***

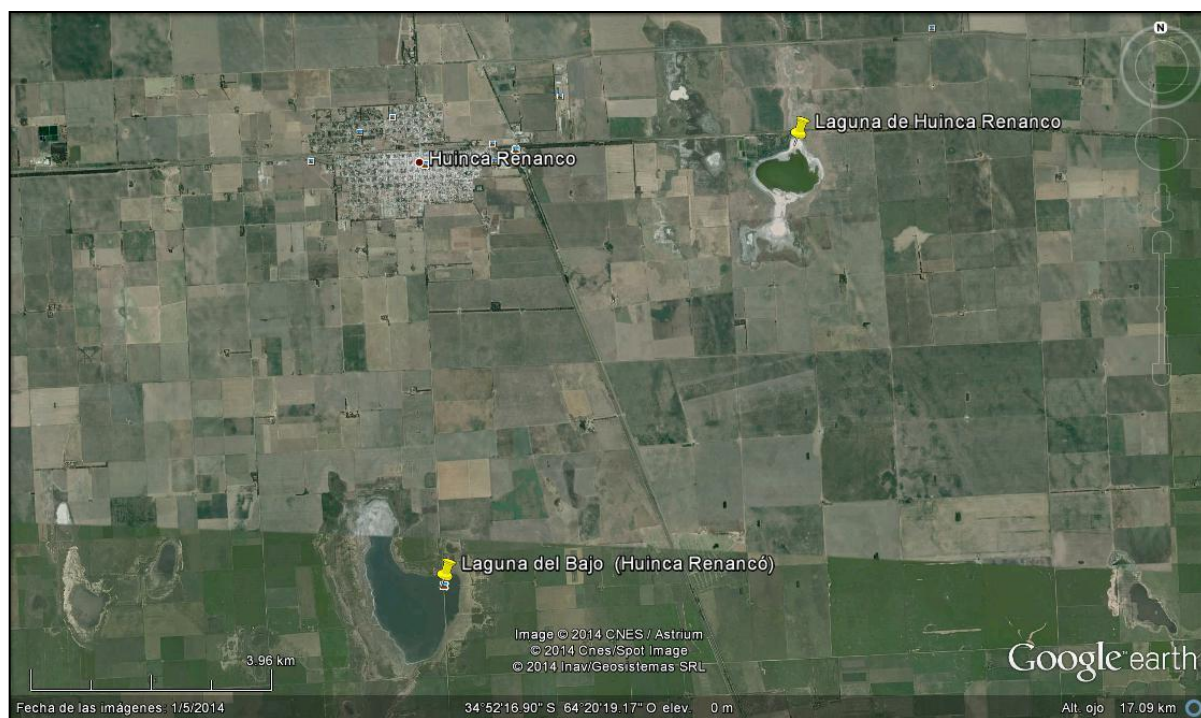
Los controles de campo en la zona de estudio (Figura 3.6) consistieron principalmente en un reconocimiento geológico-geomorfológico del área de interés y en la toma de medidas de profundidad in situ.

Se observaron las costas y el desarrollo de las mismas. Se evaluó la irregularidad de sus bordes. Se observó la presencia de sales, se constataron las dimensiones de las lagunas, el tipo de vegetación presente, se verificó el tipo de actividad agrícola desarrollada en la zona, la presencia antrópica, principalmente con el desarrollo y existencia o no de canales de entrada y salida a las lagunas. Se evaluó la presencia o ausencia de vida animal e ictiofauna. Con un disco de Secchi, se midió la turbidez (presencia de materiales en suspensión). Todos los sitios de medición se georreferenciaron con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).



**Figura 3.6:** Control de Campo en el área de estudio.

Se tomaron como análisis tres lagunas que reunían las condiciones típicas del área. Es así como se visitaron dos cuerpos de agua cercanos a la localidad de Huinca Renancó (Fig. 3.7), las cuales constituyen ejemplos de cuerpos de agua aislados, subcirculares, ocupantes de cubetas de deflación, sin presencia e influencia de una red fluvial que las alimentase, cuyos comportamientos estaban ligados al ascenso y descenso de la freática, con alto impacto en la variabilidad de sus dimensiones debido al clima estacional y a sus marcados meses de *stress* hídrico, factores reflejados principalmente en sus escasas profundidades y ocupación areal, y gran presencia de sales a su alrededor.



**Figura 3.7:** Control de Campo en lagunas cercanas a la localidad de Huinca Renancó.

La tercer laguna en elección fue la denominada laguna “La Margarita” ( $34^{\circ} 38'48,19''$  S- $63^{\circ} 43'59,16''$  O) que será analizada más adelante, cercana a la localidad de Jovita, la cual constituye un típico cuerpo de agua ocupante de una red fluvial remodelada por procesos eólicos, con alta influencia fluvial del río Quinto dispuesta dentro del paleocauce fluvial del mismo, alimentada por canales de entrada y salida y por la escorrentía superficial. De forma mas elongada y con alta presencia antrópica en la misma, se encuentra modificada e influenciada altamente por la mano del hombre.

Para la toma de profundidad in situ se tomó una varilla de 3,5 m de largo y una soga graduada unida a un peso según las condiciones y necesidades de cada laguna. Desde una embarcación se recorrieron los sitios y se realizaron las mediciones correspondientes.

Para la toma de medidas de turbidez se utilizó un disco de Secchi y se midió la misma desde una embarcación. El cálculo de la transparencia de la laguna correspondió a la profundidad media entre el punto en el cual el disco blanco horizontal, de 30 cm de diámetro, desapareció al ser observado y el punto en el cual volvió a ser visto al elevarlo, después de haber sido hundido por debajo del nivel de visibilidad.

### **Tercer Etapa**

#### ***Tareas de gabinete***

\* Se procedió al cálculo de los parámetros morfométricos a través del uso de las herramientas que QGIS brinda. Los parámetros así calculados, estimados de acuerdo con Hutchinson (1957), Hakanson (1981) y Wetzel (1981) son:

### **PARAMETROS MORFOMÉTRICOS**

**A** Área de la superficie de la laguna

**P** Perímetro de la laguna

**L** Longitud máxima de la laguna, línea que conecta los dos puntos más extremos de un cuerpo de agua

**Z** Profundidad máxima de la laguna

**z** Profundidad media de la laguna  $V/A$

**z/Z** Cociente entre las profundidades media y máxima de la laguna

**Zr** Índice de la profundidad relativa  $= 0,05 \cdot Z^{0,5} / A^{0,5}$

**V** Volumen de la laguna  $A \cdot Z$

**W** Ancho medio de la laguna  $(A/L)$

**Wmax** Ancho máximo de la laguna, longitud de la línea recta perpendicular al eje de longitud máxima

**L/W** Relación entre la longitud máxima y el ancho medio de la laguna

**DI** Índice de desarrollo de costa  $P/2(\pi A)^{1/2}$

**DR** Relación Dinámica  $((A)/z)^{0,5}$

**Vd** Factor de forma  $3 \cdot z/Z$

\* De acuerdo a los parámetros calculados, se realizó una clasificación de las lagunas en función de sus valores de área y perímetro.

- \* Se diferenciaron y destacaron los cuerpos de agua según su índice de desarrollo de costa o circularidad.
- \* Se analizó la orientación geográfica de los ejes mayores de los cuerpos lacustres para un reconocimiento adecuado de los patrones de orientación en el espacio.
- \* Se analizó la distribución de estos cuerpos en el espacio según su ubicación en el paisaje geomorfológico correspondiente (Pampa medanosa-Pampa Arenosa Anegable- Pampa Arenosa).
- \* Se procedió al análisis estadístico para diferenciar y comparar los patrones de comportamiento de las lagunas del sur de Córdoba para, finalmente, clasificar las mismas en función de los resultados estadísticos, análisis morfométricos y características geológicas.
- \* Se analizó la relación existente entre los vientos reinantes y la presencia de lagunas y bañados. Para esto se tuvo en cuenta los valores de intensidad y dirección de los mismos. Se estudió la distribución de los cuerpos de agua en función a este último factor. Se determinó la relación existente entre el eje mayor de las lagunas y la dirección predominante del viento en la región.
- \* Nuevo procesamiento digital de imágenes satelitales. En esta ocasión se hizo uso del método de rangos o Pseudocoloreado (Brenner, 1997) para estimación cualitativa de la profundidad de un cuerpo de agua, mas precisamente, la laguna La Margarita. Este método consiste en determinar secciones de la imagen con valores similares y donde cada segmento es representado con un valor de brillantez. El mapeo de rangos se basa en agrupar rangos de valores de reflectancia, asignándoles diferentes tonos de colores a distintas clases para representar valores de profundidad. De esta forma se logró realizar un mapa temático de la laguna La Margarita e interpolar los resultados obtenidos con los datos de profundidad medidos en campo apoyando los resultados en la batimetría realizada en la laguna por Degioanni et al. (2002).

## IV. CUARTO BLOQUE

### LOS HUMEDALES DEL SUR DE CÓRDOBA

#### Humedales

Los humedales en general, son sistemas intermedios entre ambientes permanentemente inundados y ambientes normalmente secos. Según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, son áreas que permanecen en condiciones de inundación o, por lo menos, con su suelo saturado con agua durante períodos de tiempo considerables. El agua de los humedales puede provenir del mar, de los ríos, las lluvias o de napas subterráneas.

La Convención Ramsar (Convención sobre los Humedales) los define como **“extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”**.

Viñals (1999) describe al humedal como una zona (más o menos extensa) topográficamente deprimida y constituida por materiales impermeables en donde se recoge el agua que configura el humedal y considera que tres características principales son comunes a la hora de definirlo: topografía muy plana o ligeramente deprimida, cercanía a la superficie del nivel freático y extrema fluctuabilidad del régimen hidrológico.

Según el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América y la organización Wetlands Internacional los principales tipos de humedales son:

\*Estuarios: Desembocaduras de los ríos en el mar, donde el agua alcanza una salinidad equivalente a la media del agua dulce y salada (por ejemplo, deltas, bancos fangosos y marismas).

\*Marino - Costeros: Áreas entre tierra y mar (por ejemplo, playas, manglares y arrecifes de coral).

\*Fluviales: Tierras anegadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos (por ejemplo, llanuras de inundación, bosques inundables, islas fluviales y lagos de meandro).

\*Palustres: áreas que contienen aguas relativamente permanentes (por ejemplo, pantanos, turberas, marismas y ciénagas).

\*Lacustres: zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (Lagunas, lagos, lagos glaciales y cráteres de volcanes).

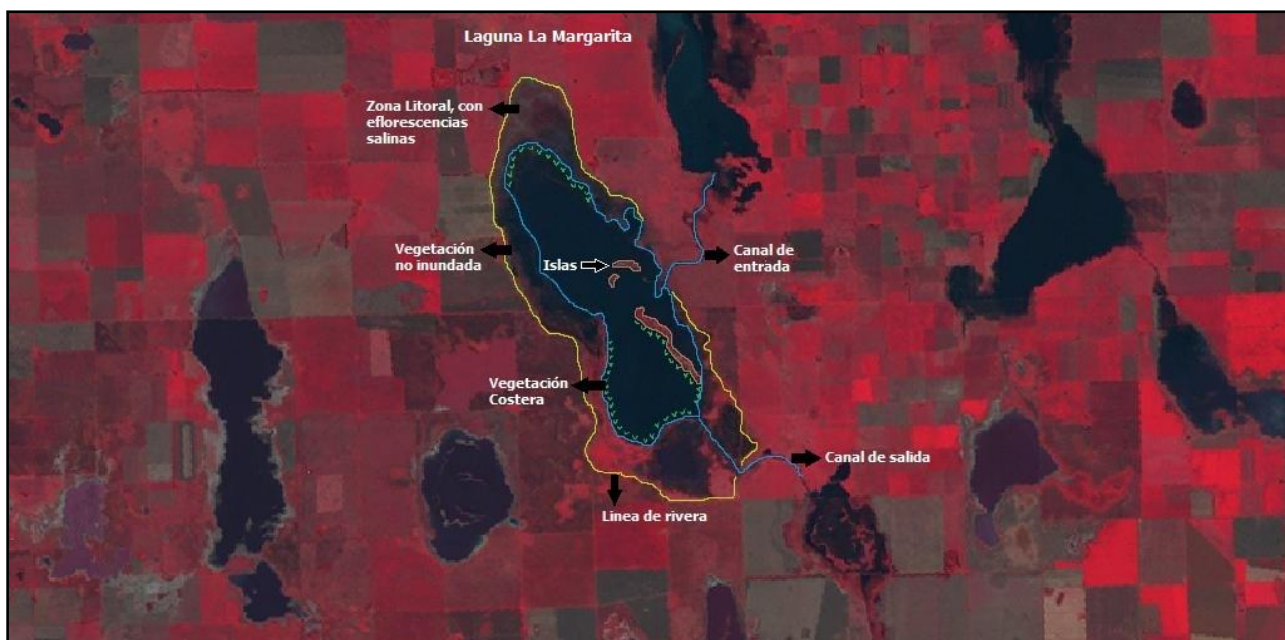


## Geomorfología de las lagunas del sur de Córdoba

Las lagunas del sur de la provincia de Córdoba y de la región Pampeana en general, son cuerpos de agua resultado de procesos geomorfológicos, clima, balance hídrico de precipitación-evapotranspiración y procesos de recarga y descarga subterránea. Estas lagunas están asociadas a formas eólicas primarias ligadas a cubetas de deflación de origen eólico y algunas otras a paleocauces fluviales. Algunas poseen influencia tectónica y todas se encuentran inmersas en el denominado "Mar de Arena Pampeano" (Fig. 4.1).

Los procesos activos de la región están muy vinculados a las condiciones climáticas e hidrológicas regionales. Según Carignano *et al.* (2014) en los ciclos húmedos, dominan procesos de anegamiento, por ascenso del nivel freático y acumulación de excedentes pluviales y de inundación/sedimentación, asociado a los aportes líquidos y sólidos de los sistemas superficiales que descargan en la región. En los períodos secos, se exponen extensas áreas de suelos salinizados, las cuales son deflacionadas a fines de invierno-primavera, potenciando la salinización-alcalinización de los suelos circundantes.

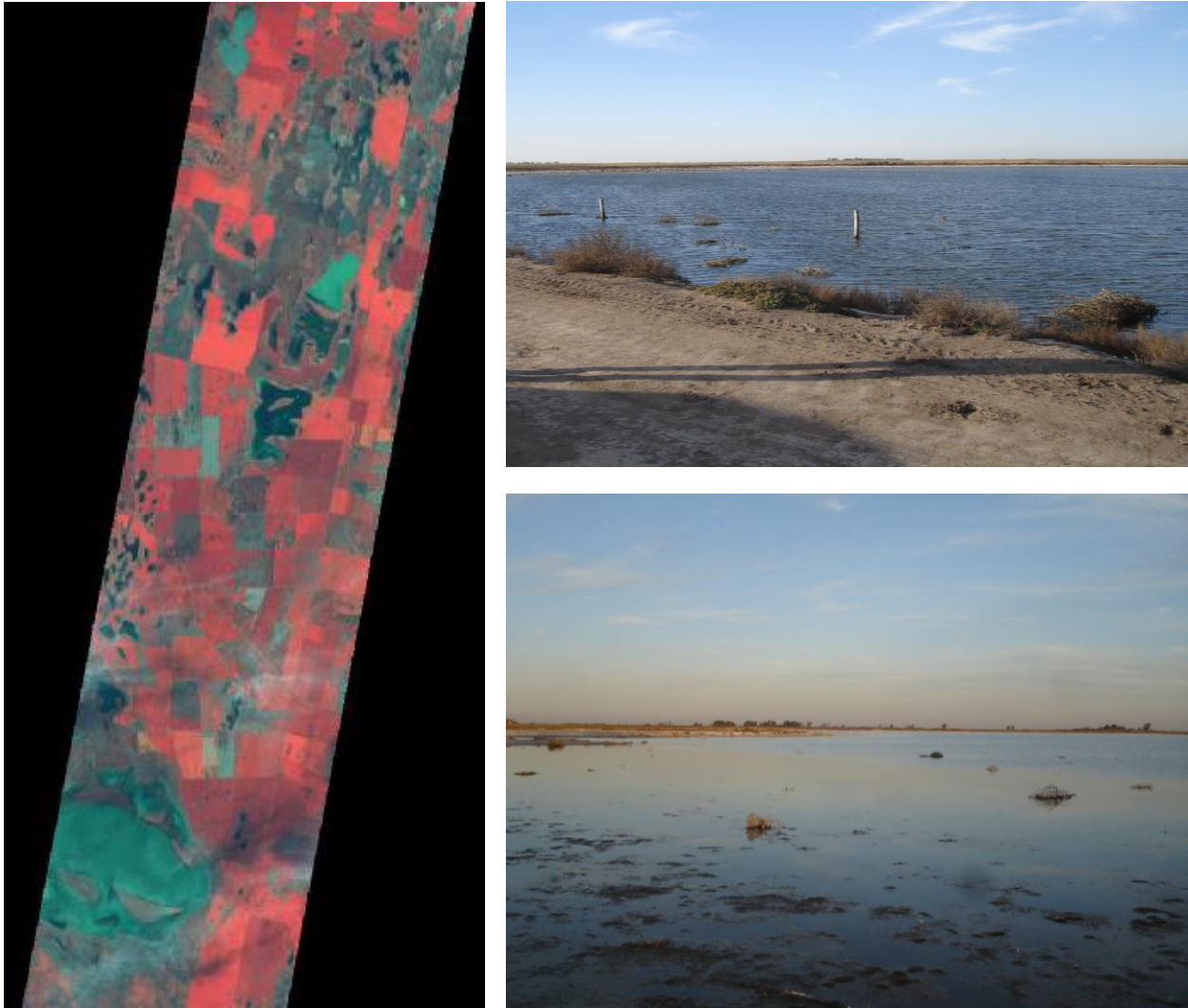
Se trata de lagunas de baja profundidad y de límites irregulares y netos. Algunos cuerpos de agua son temporales, llegando a desaparecer totalmente, y otros pocos de carácter permanente. Sus áreas y perímetros, parámetros ligados al clima de la región, varían en función de la estación, precipitación, evaporación y escorrentía superficial local y subterránea.



**Figura 4.1:** Laguna Pampeana con entrada y salida de canales, sales a su alrededor y vegetación costera. Imagen LANDSAT procesada en Falso Color, bandas RGB 4-3-2.



Estos cuerpos acuáticos no estratifican térmicamente excepto por períodos cortos de tiempo (Quirós, 2005) y se corresponden con corredores entre dunas longitudinales y cubetas de deflación aisladas o asociadas a dunas parabólicas (Fig. 4.2).



**Figura 4.2:** A la izquierda, lagunas inmersas en la Pampa Arenosa Anegable, imagen HYPERION, procesada con bandas RGB 50-23-16. A la derecha, Lagunas Pampeanas cercanas a la localidad de Huinca Renancó.

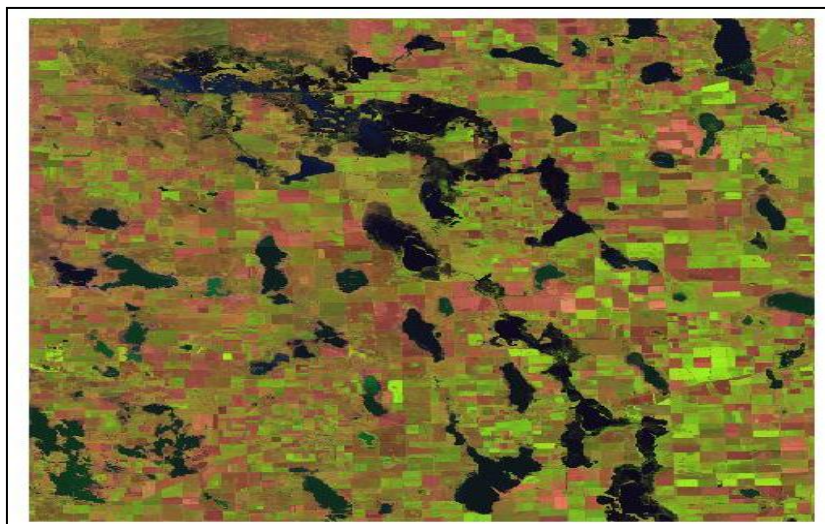
En general todos los cuerpos lagunares son poco profundos y los de mayor superficie, exhiben lunetas de arcillas en diversas posiciones indicando la alternancia de ciclos húmedos y secos (Carignano *et al.* 2014). En los bordes de lagunas y bañados y en las áreas muy planas de toda la unidad hay presencia de eflorescencias salinas (Fig. 4.3) vinculadas a fluctuaciones del nivel freático de las aguas subterráneas. Estas condiciones hidrológicas, según Carignano *et al.* (2014) han favorecido el desarrollo de suelos halohidromórficos (policíclicos), sobre materiales aluviales, lagunares y/o eólicos arenosos muy finos/limosos, donde son frecuentes los niveles de fragipanes y

duripanes, que actúan como nivel de base de procesos de deflación y constituyen el piso de varios cuerpos lagunares.



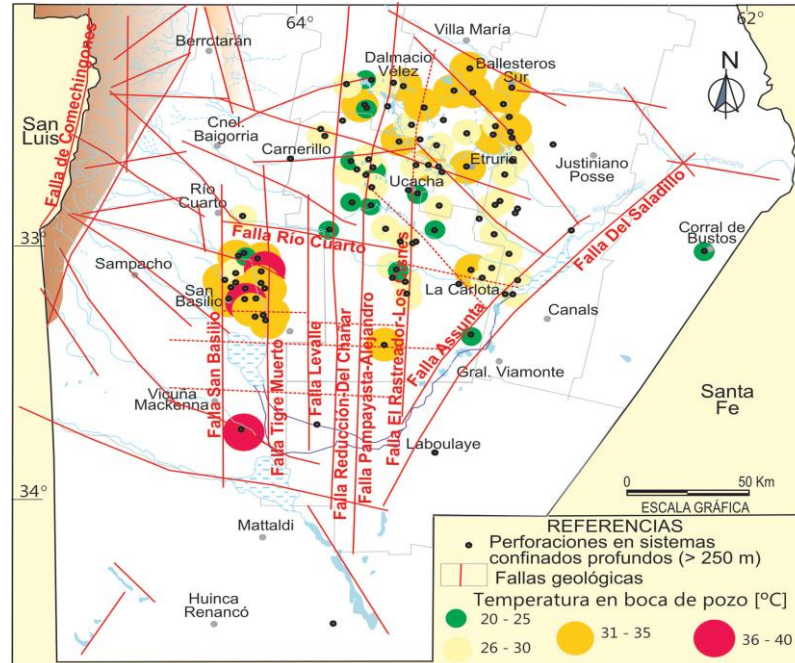
**Figura 4.3:** Eflorescencias salinas alrededor de lagunas pampásicas.

Las lagunas alimentadas por ríos y ligadas a paleocauces, como la laguna La Margarita, La Amarga o del 7, San Pedro, Nelson y San José entre otras, poseen mayor profundidad y área, formas elongadas y líneas de costas irregulares (Fig. 4.4). Son lagunas encadenadas y muy antropizadas donde la mano del hombre ha provocado una modificación relevante a través de la canalización de las mismas. Actúan como reguladoras de las crecidas del Río Quinto en el Sur de Córdoba, pero al encontrarse colmatadas de sedimentos producto de la erosión del cauce del mismo, pierden la capacidad de embalse y, su transparencia, medida con un disco de Secchi, es muy baja lo que indica una gran cantidad de sedimentos en suspensión. La disposición lineal y la forma elongada de las lagunas es el resultado del efecto de estructuras regionales de dirección meridiana NW-SE.



**Figura 4.4:** Lagunas en rosario. Imagen LANDSAT combinación de bandas 5-4-3.

La presencia de fallas afecta no solo a este conjunto de lagunas encadenadas, sino que también lo hacen a lo largo de todo el sur de Córdoba, condicionando la disposición y morfología de los cuerpos lacustres de la región. Las lagunas sujetas a fallas y lineamientos, presentan en general una forma elongada, mayor superficie y profundidad (Fig. 4.5).



**Figura 4.5:** Fallas Geológicas presentes en el área de estudio. Las lagunas en rosario se alinean según la presencia de las mismas (Blarasin *et. al.* 2014).

Los procesos eólicos de **erosión, transporte y depositación** son los encargados de crear la geomorfología típica desarrollada en el “mar de arena pampeano” y son los principales responsables de la génesis de los cuerpos acuáticos en la región.

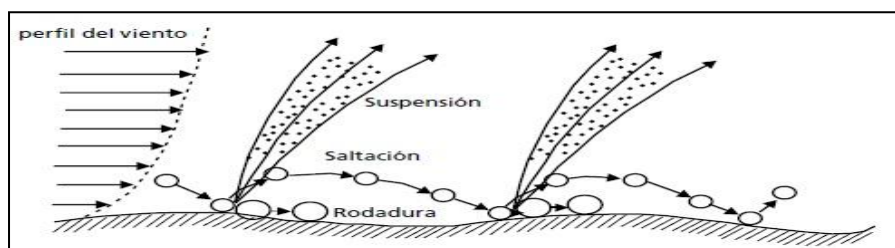
Como se sabe, los procesos eólicos son los derivados de la actividad del viento y dan lugar a erosión, transporte y sedimentación. Se movilizan las partículas de pequeño tamaño, erosionan a diversos tipos de materiales y, finalmente, se depositan en distintos ambientes, a veces a grandes distancias de su área de procedencia. Estos vientos son los encargados de edificar grandes campos de dunas, mantos loessicos y de generar cubetas de deflación. Es en estas geoformas donde se distribuyen y se encuentran presente las lagunas del área en cuestión.

Para entender como es el proceso de formación de las mismas, hay que tener presente conceptos que se encuentran involucrados en la acción eólica. Estos son: tipos de transporte eólico, erosión, formas resultantes, y las acumulaciones eólicas generadas.

#### **-Tipos de transporte eólico**

Una vez que las partículas se movilizan lo hacen de 3 formas distintas: *Reptación, Saltación y Suspensión* (Gutierrez Elorza, 2001), (Fig. 4.6).





**Figura 4.6:** Tipos de transporte eólico.

**-Reptación:**

Corresponde al rodado de partículas gruesas a lo largo de la superficie del suelo, ocasionado por el viento y por otras partículas movilizadas por él. No hay límite superior de partículas que podría rodar, pero en la práctica la mayor parte se encuentra en un rango entre 0,5 mm y 1 ó 2 mm (500 a 1.000  $\mu$  m) de diámetro (Gutierrez Elorza, 2001).

**-Saltación:**

Consiste en el levantamiento de una partícula, que recorre una distancia en trayectoria balística y cae impactando en la superficie. La energía de este impacto se emplea en el levantamiento de otros granos. Por consiguiente, la saltación es un mecanismo de transporte muy importante en el que se produce un sistema en cascada. El tamaño de la partícula que se mueve por saltación varía de 0,05 a 0,50 mm (arenas muy finas a arenas medias). La saltación es el mecanismo de transporte más importante ya que es el encargado de provocar y generar los movimientos de saltación y suspensión (Buschiazzo y Aimar, 2003).

**-Suspensión:**

Las partículas más pequeñas (<0,06 mm) se transportan por suspensión con un movimiento turbulento del aire, que puede mantener a este sedimento fino durante muchos días a considerables alturas y depositarse finalmente como polvo o loess. Este constituye un depósito por lo general entre 30 y 60 mm, que ocupa grandes extensiones en algunas zonas y que puede recorrer distancias superiores a los 300 km (Buschiazzo y Aimar, 2003).

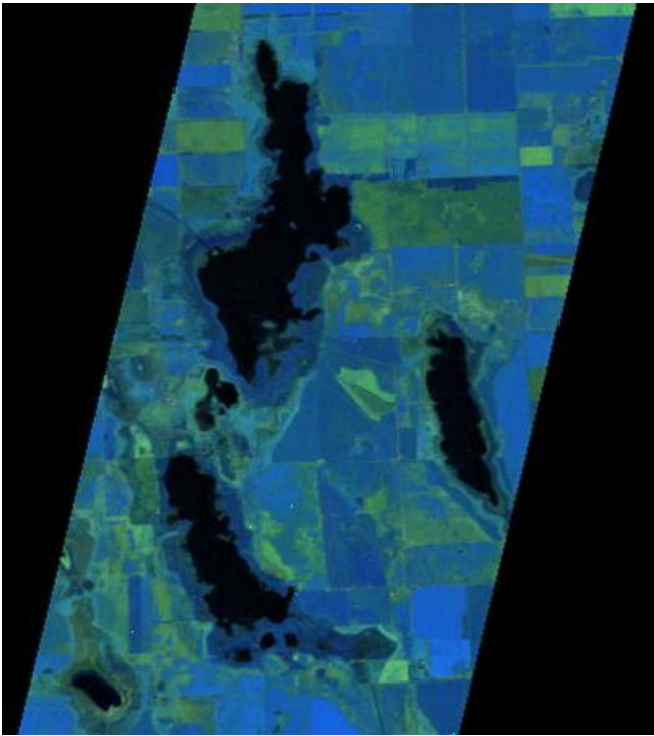
**-Erosión eólica y formas resultantes**

**-Cuencas de deflación:**

Es la principal geoforma responsable de la génesis de los cuerpos de agua en el área de estudio.

El viento produce erosión mediante la deflación, el levantamiento y removilización del material suelto. El resultado más destacable de la deflación es la aparición de depresiones superficiales denominadas cubetas o cuencas de deflación. El factor que controla las profundidades de estas cuencas (es decir, que actúa como nivel de base) es el nivel freático local. Cuando las depresiones de deflación descienden hasta el nivel freático, la tierra húmeda y la vegetación impiden la

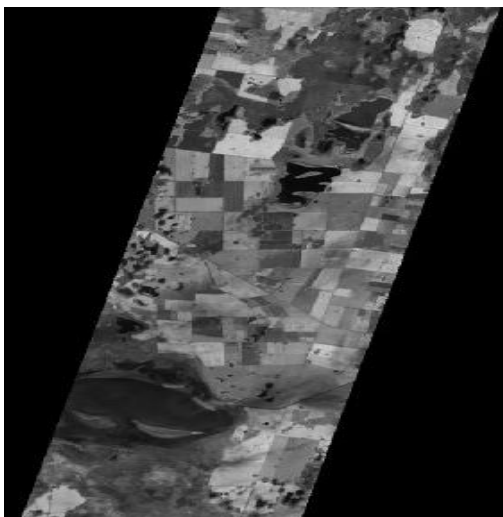
deflación posterior. Las cubetas de deflación se desarrollan preferentemente en sedimentos pobremente consolidados.



**Figura 4.7:** Lagunas elípticas, de bordes irregulares. Imagen Hyperion procesada, bandas RGB 204-150-93.

En el área de estudio, son depresiones cerradas. Tienen generalmente formas redondeadas, elípticas o arriñonadas y sus bordes son redondeados e irregulares (Fig. 4.7 y 4.8). Los sistemas de drenajes antiguos desarrollados en estas extensas áreas de bajo relieve, fueron lugares idóneos para la generación de estas cuencas de deflación. La excavación por deflación de los cursos de agua desconecta la red y paleored al generar cuencas de deflación, aunque se reconoce en ciertas partes el trazado de los paleocanales. También las dunas bloquean los canales, originando finalmente cuencas de deflación.

Se encuentran grandes extensiones de cuencas de deflación interdunares las cuales se forman como consecuencia del desarrollo de campos de cordones de dunas, derivados de dunas parabólicas. El desarrollo de estas dunas implica la formación de cuencas de deflación de forma elíptica (Gutierrez Elorza, 2001), tal como las lagunas con esta morfología presentes ampliamente en la unidad de estudio.



**Figura 4.8:** Se observa la presencia de lagunas subcirculares de variadas dimensiones. Izquierda, imagen HYPERION, banda 40. Derecha, imágenes Google Earth.

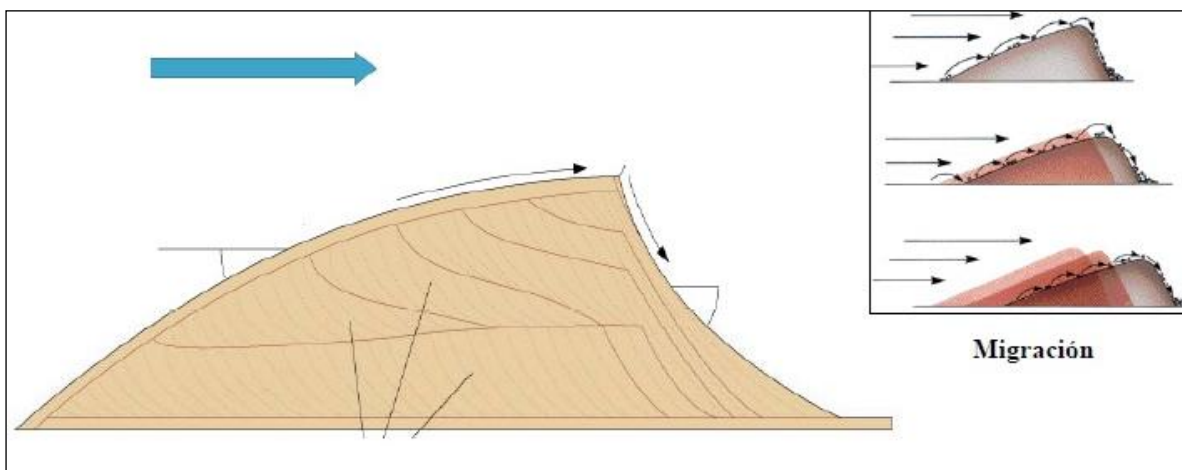


### **Acumulaciones eólicas**

Las acumulaciones eólicas resultan de la sedimentación de partículas transportadas por el viento, que dan origen a depósitos de arena y polvo. Las dunas, son, sin duda, las formas más llamativas dentro de los desiertos. En la región de estudio forman parte del paisaje y se encuentran cubriendo grandes áreas y conteniendo lagunas en su interior, ya sea entre corredores interdunas o a manera de cuencas de deflación asociadas.

#### **-Dunas:**

La iniciación de una duna implica una sedimentación local que se produce por un descenso de la velocidad de transporte. La acumulación comienza en débiles irregularidades de la superficie o pequeños obstáculos de vegetación o bloques. La mayor parte de ellas es asimétrica (Fig. 4.9), con un gradiente de pendiente bajo en la cara expuesta que recibe el viento (barlovento) y un gradiente mayor (de deslizamiento o sotavento) en la opuesta. El continuo arrastre de la arena de barlovento a sotavento produce el desplazamiento gradual de la duna en la dirección del viento.

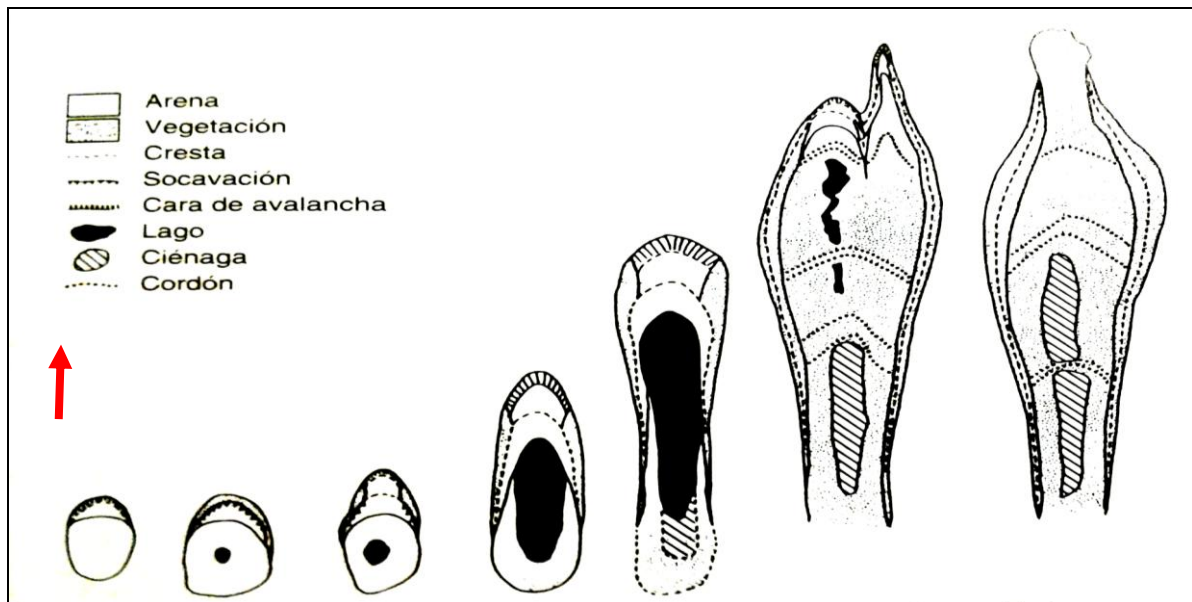


**Figura 4.9:** Esquema de una duna asimétrica.

En el “mar de arena pampeano” dentro de la zona de estudio, las dunas se encuentran disipadas, vegetadas y hay presencia de dos tipos principales: las dunas parabólicas con lagunas desarrolladas en ellas y dunas longitudinales.

Las dunas parabólicas, poseen la particularidad de tener forma de U o V en planta con dos brazos, parcialmente cubiertos por vegetación en la zona de barlovento. Estas dunas parecen estar asociadas básicamente con la existencia de una cobertera vegetal de desarrollo moderado y con un régimen de vientos unidireccional. El papel de la vegetación en la génesis de la duna parabólica es fundamental, ya que protege los brazos menos móviles contra la acción eólica y permite que la parte central avance. Se cree que las dunas parabólicas crecen al nutrirse de arena procedente de la

erosión de los sedimentos infrayacentes, aunque esta alimentación puede cesar si aflora un sustrato coherente o se alcanza el frente de capilaridad, donde la arena está húmeda y no se moviliza. Otras veces aflora el nivel freático y se originan ciénagas y lagos (Figs. 4.10 y 4.11). Con posterioridad los brazos de la duna parabólica convergen disminuyendo de altura y finalmente una lengua de arena se abre paso a través del ápice. Este tipo de dunas se desarrolla en gran parte del área de estudio y las lagunas pampeanas que se encuentran adosadas a ellas son producto de este proceso de maduración.



**Figura 4.10:** Evolución de duna parabólica con laguna en su interior (Gutierrez Elorza, 2001).

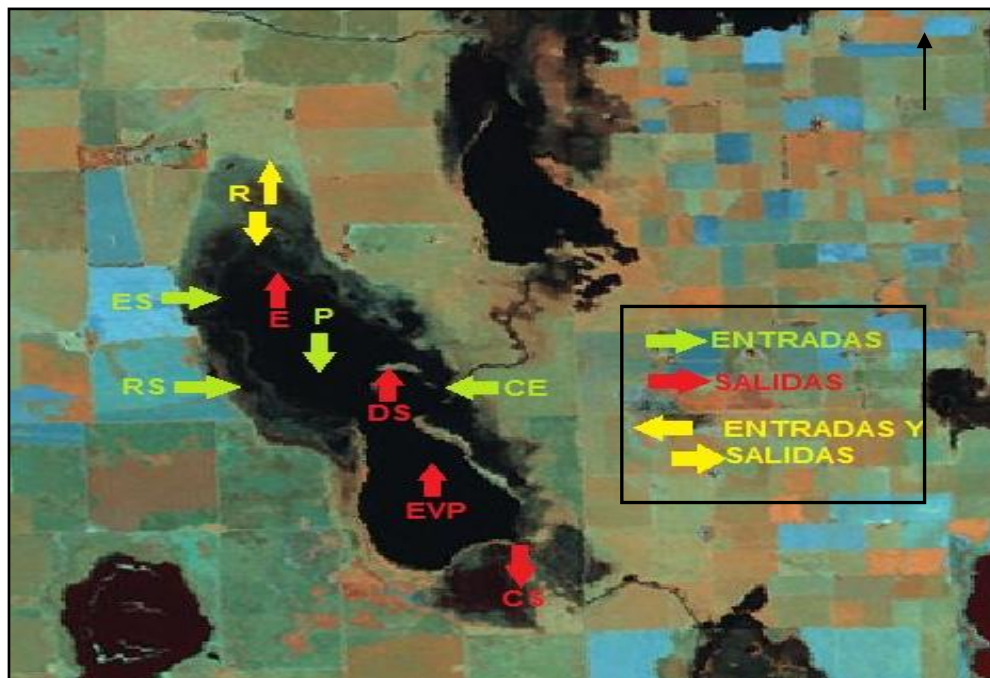


**Figura 4.11:** Dunas parabólicas con lagunas en su interior.

Las dunas longitudinales también se hacen presentes en el paisaje. Se encuentran disipadas, cubriendo grandes áreas. Este tipo de dunas son alargadas y rectilíneas se forman al desplazarse en la dirección del viento dominante, aunque algunas se movilizan oblicuamente. Los regímenes del viento de las dunas lineales son variables. Los más frecuentes son unimodales o bidireccionales y, a veces, se reconocen varias direcciones. Suelen estar fundamentalmente asociados a vientos persistentes de una misma dirección, a los que se superponen vientos oblicuos.

### Funcionamiento Hidrológico de los humedales

El humedal pampeano en el sur de la provincia de Córdoba posee un funcionamiento hidrológico ligado a procesos de recarga y descarga subterránea, precipitaciones y escorrentía superficial local. Algunas lagunas además poseen entradas y salidas de agua por presencia canales de drenaje y por actividades vinculadas al riego (Fig. 4.12).



**Figura 4.12:** Modelo de funcionamiento del humedal pampeano (EVP: Evapotranspiración E: Evaporación P: Precipitación CE: Canal de Entrada CS: Canal de Salida RS: Recarga Subterránea ES: Escorrentía Superficial DS: Descarga R: Riego). Imagen Landsat RGB 4-5-7.

Estas lagunas actúan como áreas de recarga al acuífero pampeano y están fuertemente ligadas al comportamiento del nivel freático, resultando ser lagunas temporales o permanentes según el comportamiento de este y según el clima estacional que incide fuertemente en el desarrollo de las mismas. Además, poseen una gran influencia sobre las características fisicoquímicas del agua subterránea filtrando sedimentos y posibles contaminantes provenientes de las actividades agrícolas desarrolladas en su cuenca de drenaje, influyendo sobre la calidad del agua provocando grandes

niveles de eutrofización. La gran mayoría de las lagunas presentan una hidroquímica altamente variable, mientras que las lagunas más salinas se sitúan en las cuencas más aisladas hidrológicamente (Quirós y Drago, 1999). Según Quirós (2005) su concentración salina permite clasificarlas como lagos subsalinos y salinos (Ringuelet, 1962; Ringuelet *et al.*, 1967; Drago y Quirós, 1996) y en algunos casos como lagos de agua dulce ( $<0,5\text{g.l}^{-1}$  de sólidos disueltos totales). Como lagos de llanura, su hidrología es altamente dependiente de las precipitaciones “in situ” (Fuschini, 1994), principalmente de aquellas que se producen hacia fines del otoño (Vervoorst, 1967).

### Origen y edad de instalación del sistema lacustre

Las lagunas del sur de la provincia de Córdoba se encuentran inmersas dentro del sistema eólico pampeano consecuencia de ciclos sucesivos secos y húmedos acontecidos durante el Cuaternario tardío (Fig. 4.13). El estudio de los sucesivos cambios climáticos y la relación de los mismos con las evidencias geomorfológicas y formaciones estratigráficas presentes en estudios

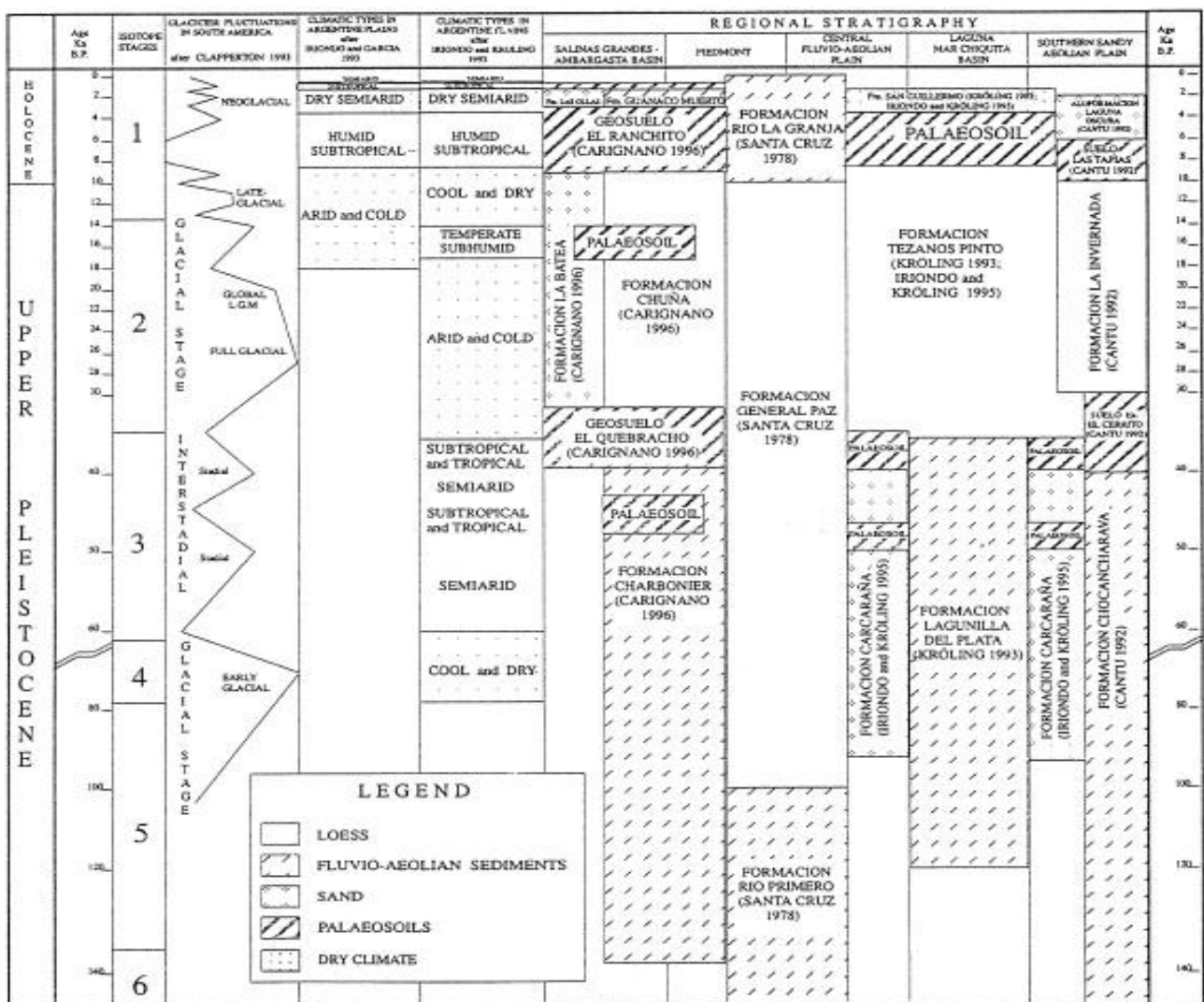


Figura 4.13: Ciclos sucesivos secos y húmedos acontecidos durante el cuaternario tardío (Carignano, 1999)

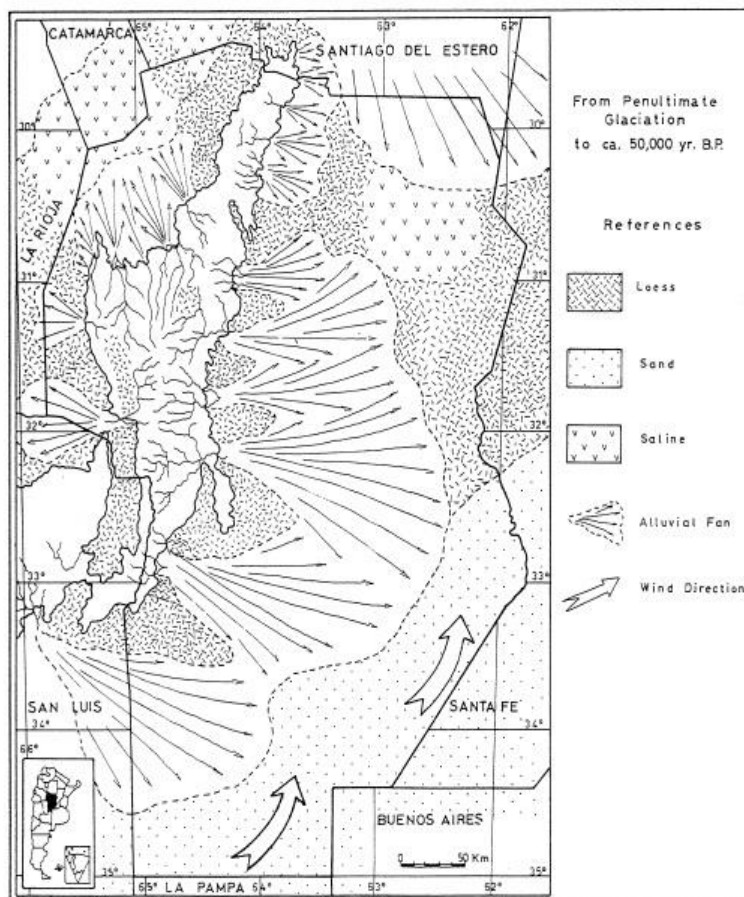


geopalimnológicos y geolimnológicos realizados en la laguna Adela ubicada a los 35° 41' 30" S y 57° 59' 10" O (Dangavs y Mormeneo, 2012) y en las lagunas encadenadas del Oeste (Cordoba, Francisco, 2012) ubicadas en la provincia vecina de Buenos Aires pero conformantes del mismo sistema eólico pampeano presente en el sur de la provincia de Córdoba, permitirá correlacionar y establecer el momento en que este sistema de humedales comenzó a funcionar y estimar la edad de los mismos así como también conocer la génesis y evolución de los mismos. Carignano (1999) define los cambios climáticos ocurridos en las planicies de Córdoba desde el temprano Pleistoceno al Holoceno.

Según Carignano (1999) durante el gran intervalo existente desde la penúltima glaciación hasta alrededor de los 50,000 años AP, se acumularon limos loessicos, arenas eólicas y depósitos fluviales (Fig. 4.14). Estas forman parte del "mar de arena Pampeano" (Iriondo, 1991; Iriondo y Kröling, 1995). Carignano (1999) reconoce tres ambientes sedimentarios principales durante este período: En el oeste y noroeste de la provincia se desarrolló una amplia planicie de piedemonte. En el sur y suroeste, se depositó el grueso manto de arenas eólicas nombrado anteriormente, formando un gran campo de megadunas. El tercer ambiente sedimentario reconoce corresponde al de una

gruesa sucesión loessica que fue subsecuentemente erosionada por acción fluvial.

Además, Carignano (1999) establece que los sedimentos, suelos y fósiles encontrados sugieren un clima semiárido a árido con marcada estabilidad y precipitaciones infrecuentes. Según este autor, las precipitaciones fueron algo menores que el presente, aunque la diferencia puede haber sido ser relativamente menor. También afirma que las temperaturas fueron claramente menores que los valores actuales presentes en invierno, y posiblemente a condiciones corrientes durante el



**Figura 4.14:** Escenario desde Penultima Glaciación hasta alrededor de 50.000 años AP, (Carignano, 1999).

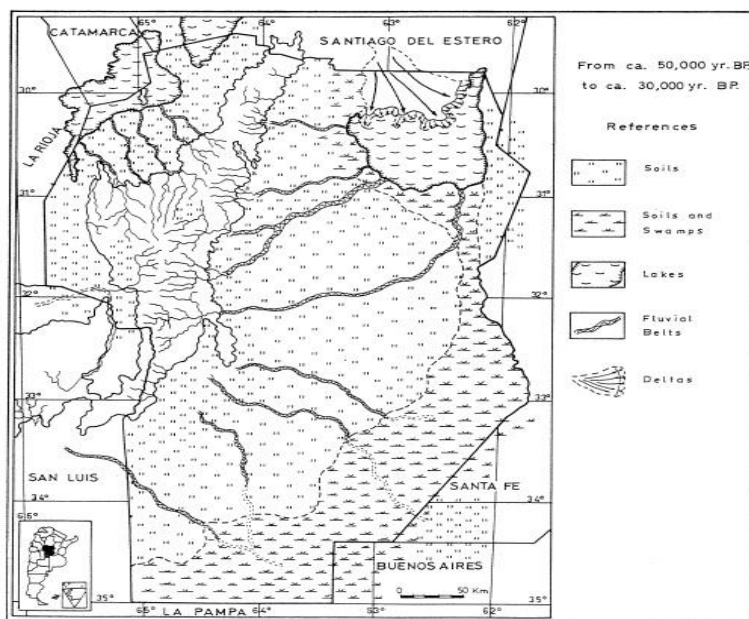


verano. Los vientos eran persistente desde el sur y suroeste, generados por patrones de circulación, similares a los observados hoy en día con el “viento pampero seco” (García, 1992). Los depósitos fueron asignados como parte del escenario “bonaerense” y parte del “Ensenadense”.

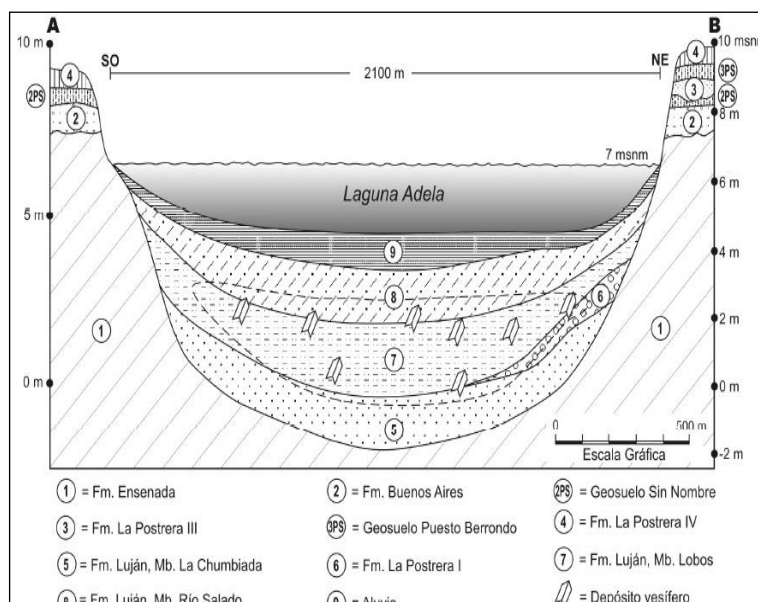
Según un estudio geolimnológico y paleolimnológico de la laguna Adela en la provincia de Buenos Aires, (Dangavs

y Mormeneo, 2012) este evento se encuentra representado en la misma (Figura 4.15). Este cuerpo de agua se encuentra asentada en depósitos sedimentarios cuaternarios cuyo lecho primitivo corresponde a la **Formación Ensenada** la cual asoma en la porción basal de las escarpas de la laguna y cuya edad corresponde al Pleistoceno temprano a medio. Esta formación constituye la roca base del paisaje actual y el sustrato de la cubeta lagunar, y consiste en limolitas arenosas estratificadas castaño oscuras y homeconglomerados con rodados y matriz pelítica de la misma composición y es seguida por la **Formación Buenos Aires** representado por la acumulación de un depósito loésico castaño amarillento claro friable a levemente endurecido de textura limo-arenosa y estructura migajosa.

El período siguiente, comprendido entre aproximadamente los ca. 50,000 – ca. 30,000 años AP es



**Figura 4.16:** Período desde ca. 50.000-ca.30.000 años AP, (Carignano 1999).



**Figura 4.15:** Laguna Adela (Dangavs y Mormeneo, 2012).

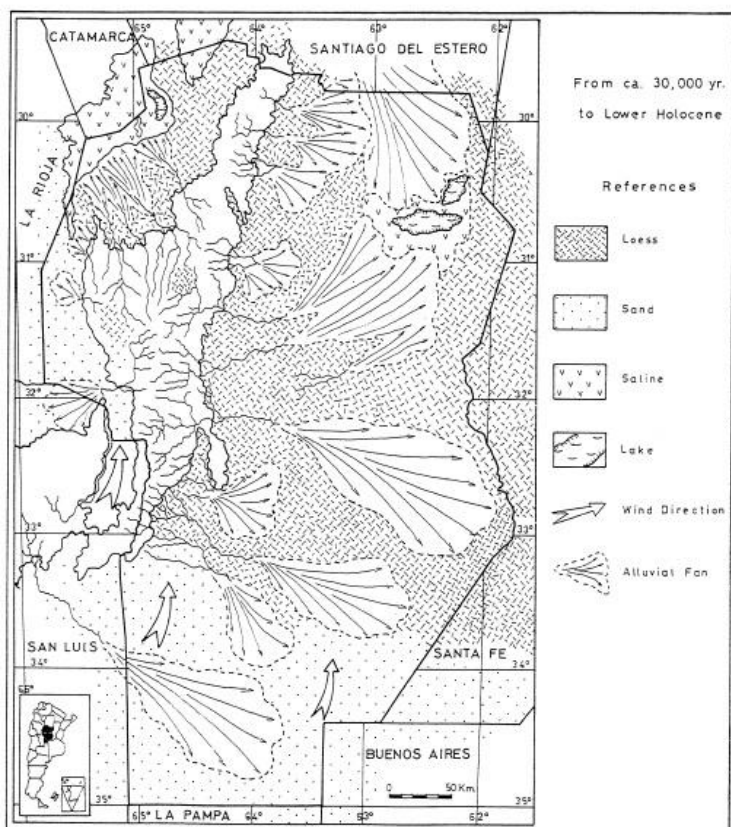
denominado el periodo “Pampeano Lacustre” (Ameghino, 1885; Bodenbender, 1921) (Fig. 4.16). Según Carignano (1999) este período esta caracterizado por una significativa interrupción en la sedimentación del loess y por el desarrollo de típicas geoformas asociadas a climas húmedos y subhúmedos. La geomorfología está caracterizada por la ausencia de

grandes formas de depósito, estabilización de cuencas por el desarrollo de suelos, disección general de las geoformas eólicas, un notable incremento en la actividad fluvial, y el establecimiento de grandes lagos. Los paleosoles, los depósitos de humedales, y formas fluviales y lacustres son grandes indicadores del cambio a un clima más húmedo.

Es aquí donde las lagunas de estudio empiezan a tomar lugar y a manifestarse. Según Carignano (1999) este período estaba caracterizado por lluvias tropicales o un clima de sabana marcado por un notable incremento de las precipitaciones. También analiza que a lo largo del este-sureste de Córdoba hay una evidencia de una suba del nivel freático durante este período. La capa freática pudo haber estado localizada muy cerca de la superficie o el nivel piezométrico pudo haber estado elevado por encima de la topografía formando humedales y pequeños pantanos.

Según Dangavs y Mormeneo (2012) este evento está representado por la **Formación Lujan, Miembro La Chumbiada del Pleistoceno tardío** (Dillon y Rabassa, 1985), el cual consiste en fangos, fangos arenosos y limos arenosos de color gris claro y castaño muy claro, presentándose macizos y homogéneos, hasta estratificados en laminas muy finas con una potencia de 1,6 m y por la pedogénesis del loess de la **Formación Buenos Aires** representada por el Geosuelo Sin Nombre (Tonni y Fidalgo, 1978).

El siguiente período abarca desde ca. 30,000 al Holoceno temprano (ca. 9000 yr BP) (Carignano 1999) (Fig. 4.17). Este intervalo está

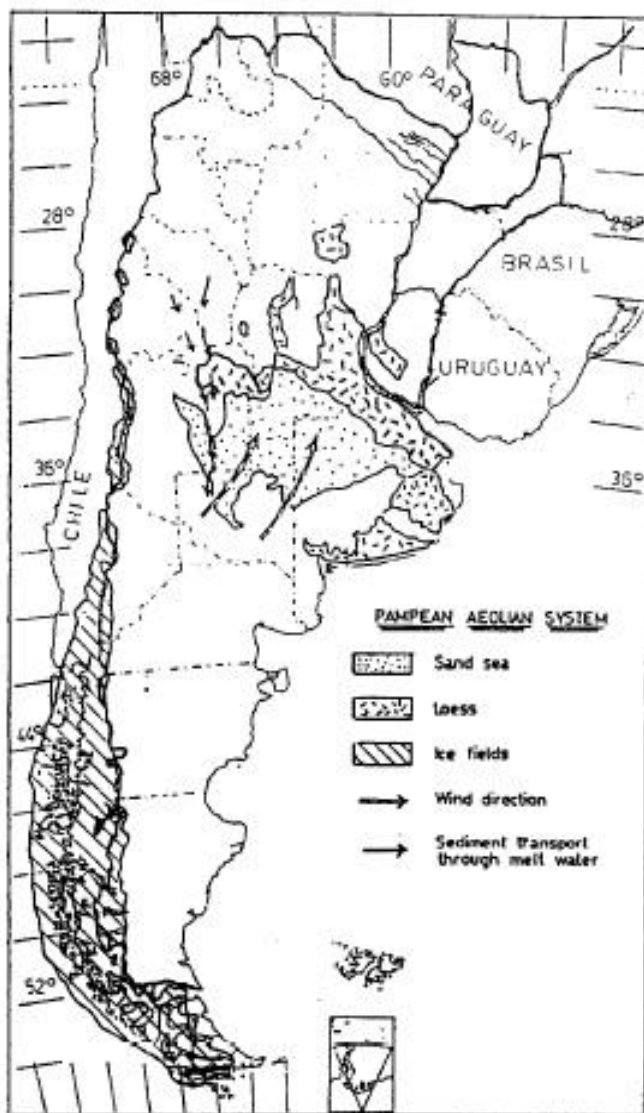


**Figura 4.17:** Período ca. 30.000 al Holoceno temprano (Carignano, 1999).

caracterizado por un clima árido a semiárido y por procesos similares a los ocurridos durante el periodo siguiente a la penúltima glaciación. Según Carignano (1999) el sur de Córdoba, el gran mar de arena fue removilizado por vientos del sur y sur-suroeste, formando nuevos campos de dunas y extensos mantos de arenas. El límite de de arenas movilizadas estaba localizado a lo largo del río Cuarto. En el oeste de Córdoba y en la cuenca de salinas grandes ocurrió la remobilización de arenas fluviales,

acompañado de la formación de dunas y mantos de arena eólicas. En estas áreas, la predominante orientación de dunas es noroeste-sureste. Además, procesos erosivos fueron activados, erosionando los suelos preexistentes y una nueva generación de abanicos aluviales se hace presente. Una faja de loess cubrió las áreas norte y central. Según Carignano (1999) el clima a este tiempo era frío y de semiárido a árido. Precipitaciones esparcidas, alta evapotranspiración y persistentes vientos desde el sur y suroeste caracterizaban al área.

Iriondo (1997) propone un modelo para explicar el sistema eólico pampeano durante este período (Fig. 4.18). Según el autor, este sistema fue formado durante el último máximo glacial de los



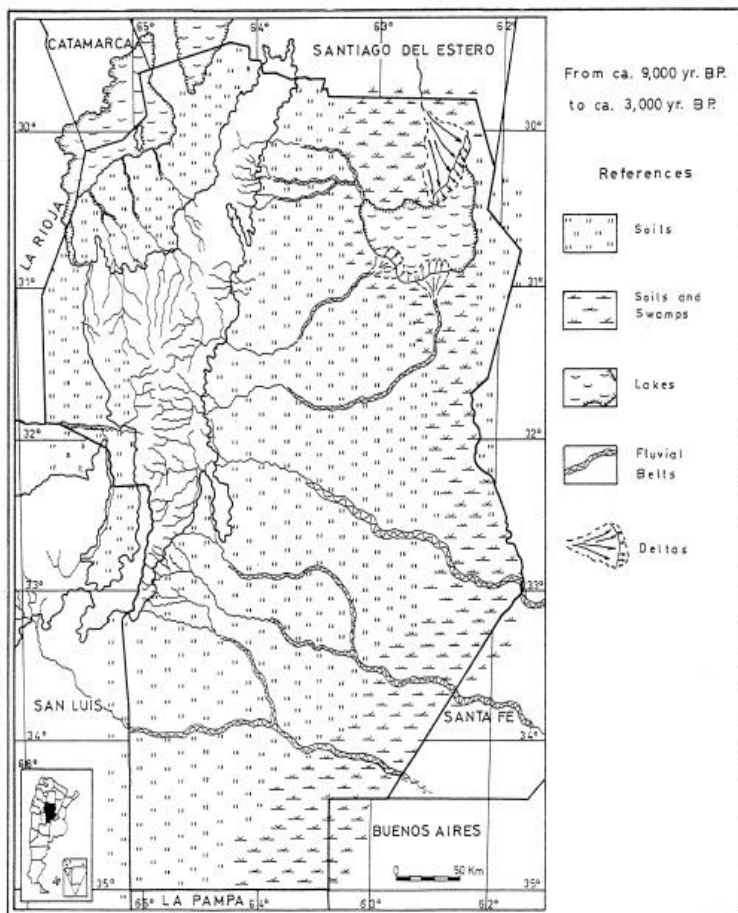
**Figura 4.18:** “Mar de arena Pampeano” (Iriondo, 1997).

Andes. El campo de hielo cubría un gran área al sur de los 28°S, permitiendo una fuerte influencia del anticiclón del pacífico sur que produjo vientos con direcciones hacia el NNE, registradas en el campo de dunas. El resto de la cordillera Argentina, al norte de los 28°S, estaba libre de hielos, debió a la aridez del clima. Un ambiente muy eficiente produjo limo, arena muy fina e illita debido a la meteorización física y nival. El sedimento era transportado hacia el sur a lo largo del piedemonte de la cordillera a través del sistema fluvial denominado Bermejo-Desaguadero- Salado. Este colector fluvial, transportaba los sedimentos por corrientes de aguas de deshielo y al arribar a la latitud de 37°/38° S, sufría la intercepción de los vientos del SSW que provenían desde el campo de hielos Patagónico. Es así como, el mar de arena empezó a desarrollarse en condiciones desérticas frías. Hacia el NE, cruzando el río Salado en Buenos Aires, el

clima era peridesértico, permitiendo la sedimentación del polvo transportado en suspensión por el viento y formando el manto de loess.

Según los estudios paleolimnológicos y geolimnológicos en la laguna La Adela este evento es correlacionable con la **Formación La Postrera I** del Pleistoceno tardío (Dangavs, 2005b). Esta, según Dangavs y Mormeneo, (2012) consiste en pseudolimos arenosos con yeso, que no supera 0,7m de espesor, son sedimentos de color castaño muy claro, friables, levemente consolidados y macizos.

El período que abarca desde ca. 9000 – ca.3000 años AP fue formalmente denominado como “Escenario Platense” (Fig. 4.19). Según Carignano (1999) se trata de un clima más húmedo y templado con gran desarrollo de suelos y significativas expansiones de la red de drenaje. Un



**Figura 4.19:** Período desde ca. 9.000-ca. 3.000 años AP, (Carignano 1999).

aumento del nivel freático inundó planicies bajas, formando cuerpos de agua estancados. La existencia de humedales y de cuerpos de agua por largos periodos favoreció la acumulación de diatomeas en una gran cantidad. El clima fue húmedo subtropical, con temperaturas mayores a las presentes. Las precipitaciones eran moderadas y sin periodos secos.

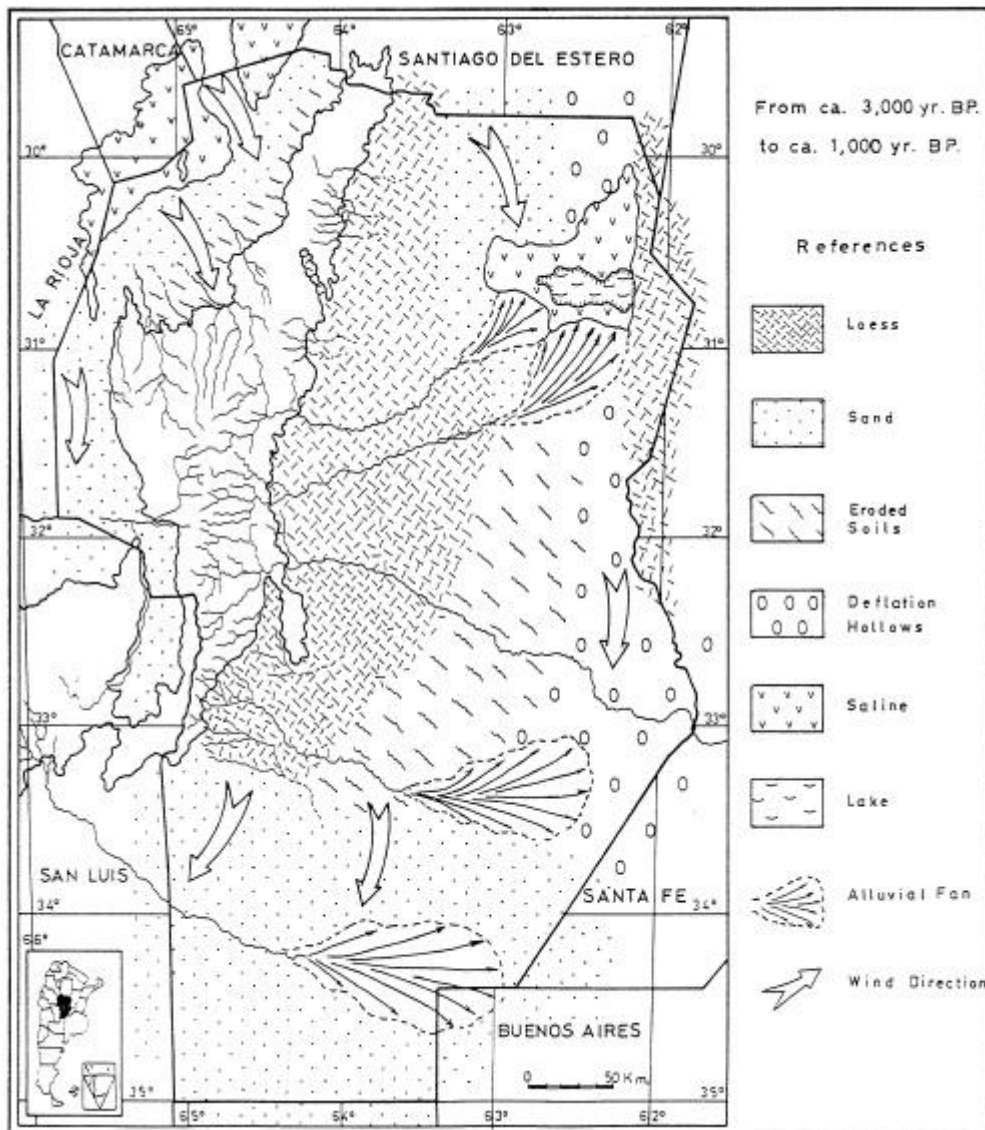
Según Dangavs y Mormeneo (2012), en esta etapa cálida, húmeda y pedogenética, en la laguna Adela, se acumuló el tercer depósito paleolímico, constituido por los sedimentos del ambiente dulciacuícola lagunar a palustre calcáreo de la

### **Formación Lujan, Miembro Río**

**Salado.** Esta formación consiste en un depósito pelítico con restos de organismos, lentes de ceniza volcánica y calcretas, alcanzan 1,4m de potencia se componen de fangos color gris a castaño grisáceo, duros a muy duros macizos con estructura laminar y abundante bioturbación.

El siguiente período, desde ca. 3000- ca. 1000 yr BP (Carignano, 1999) se caracterizó por un abrupto cambio en las condiciones ambientales (Fig. 4.20). Un episodio seco y cálido tomó lugar. Los procesos geomorfológicos eran predominantemente dominados por la erosión, deflación de sedimentos superficiales y suelos, depositación de una fina capa de loess, excavación de cubetas de

deflación y formación de grandes dunas longitudinales y parabólicas. Para la laguna Adela, según Dangavs y Mormeneo (2012), se acumularon limos eólicos, friables a levemente consolidados y sin calceretas que fueron caracterizados como la **formación La Postrera III**.



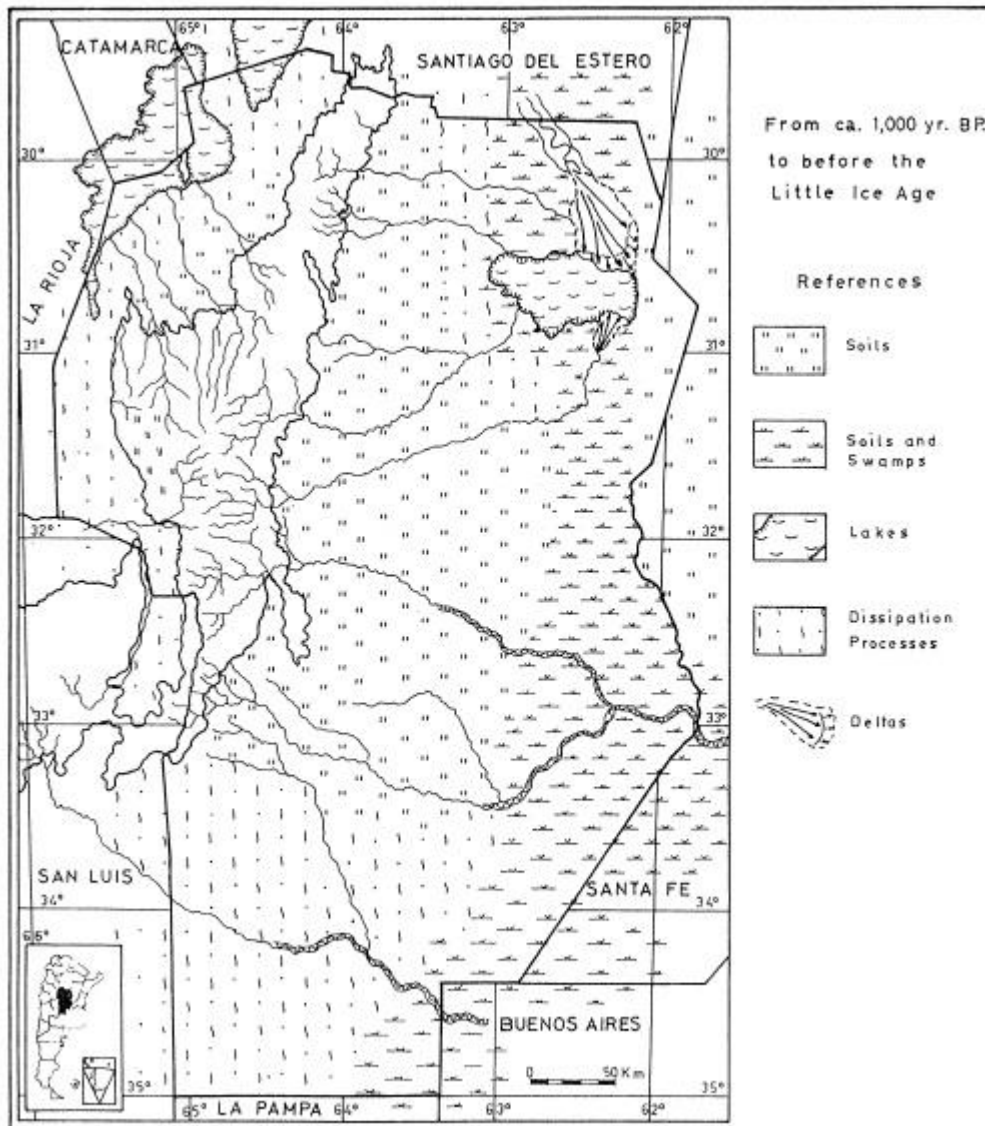
**Figura 4.20:** Periodo desde ca. 3.000 años AP a ca. 1.000 años AP (Carignano, 1999).

En el siguiente intervalo comprendido entre ca. 1.000 años AP hasta antes de la “pequeña edad de hielo” un clima húmedo se encontraba presente (Figura 4.21). Las geoformas eólicas fueron erosionadas, los lagos se expandieron nuevamente y una incipiente pedogénesis tuvo lugar. En las regiones del este y sureste, el nivel freático subió, formando humedales y pequeños cuerpos de agua en depresiones. Prácticamente todas las cubetas de deflación se transformaron en pequeños lagos permanentes. Las dunas parabólicas desarrollaron pequeñas lagunas entre sus brazos con profundidades promedio de 1-4 m. En la región central, por encima de los paleosoles erosionados,



los procesos pedológicos resurgieron. El clima fue subhúmedo y templado, con un régimen similar al del presente, aunque los inviernos eran más suaves. Las precipitaciones aumentaron considerablemente desde el período previo, excediendo los valores actuales (Carignano, 1999).

Para la laguna Adela, según Dangavs y Mormeneo (2012) este evento es el responsable de la generación del denominado **Geosuelo Puesto Berrondo**.

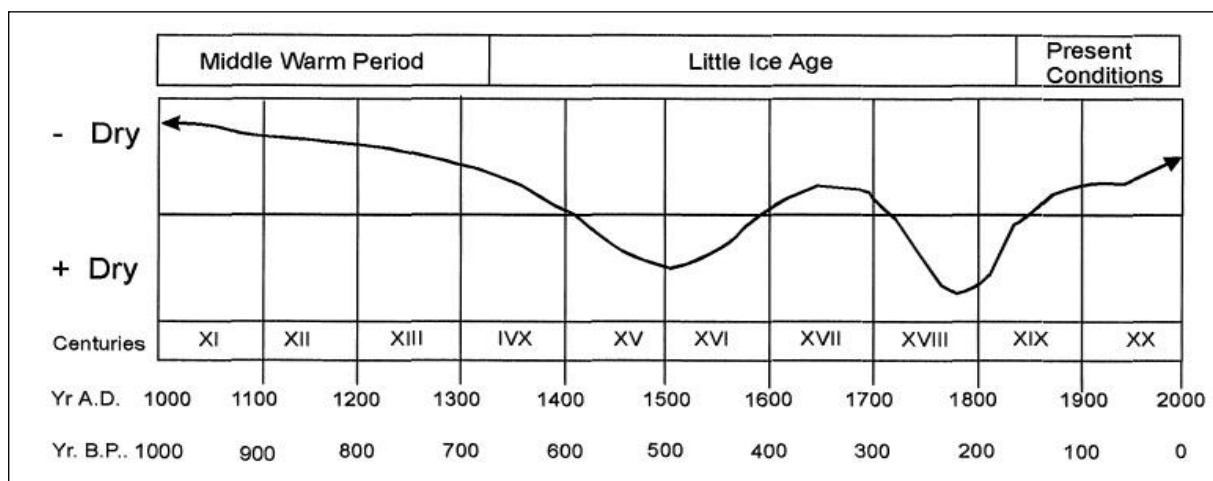


**Figura 4.21:** Periodo desde ca. 1000 años BP hasta antes de la pequeña edad de hielo (Carignano, 1999).

El período sucesivo, denominado La Pequeña Edad de Hielo, consiste en un período global frío registrado en Argentina en los últimos 1000 años. Según Cioccale (1999), las planicies tuvieron un clima templado, semiárido a árido y los glaciares andinos avanzaron (Figura 4.23). La planicie eólica arenosa sufrió intensos procesos eólicos, manifestados por un delgado manto de arena y

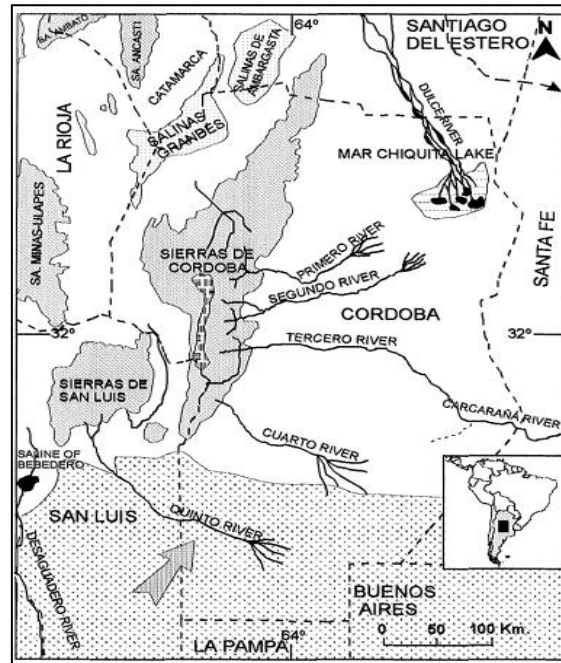
geoformas desarrolladas bajo condiciones de un clima árido a semiárido, provocado por fuertes vientos del SW (Iriondo y Kröling, 1995).

Según explica Cioccale (1999) el primer pulso frío se extendió desde las primeras décadas del siglo XV hasta fines del siglo XVI. Un período intermedio comenzó al final del siglo XVI y se prolongó hasta los comienzos del siglo XVIII (Fig. 4.22). Durante este último, un clima más benigno (similar al presente) ocurrió, con algunos años secos. Los sistemas fluviales mostraban suficiente corriente como para arribar a sus respectivos niveles de base así como también hubo una expansión de lagos. El segundo pulso frío comenzó a inicios del siglo XVIII y se extendió hasta comienzos del siglo XIX. Es la parte mas fría de la pequeña edad de hielo. Las planicies de la región central del país sufrieron una intensa sequia. Hubo desaparición de lagos y pantanos y un déficit de precipitaciones combinado con oscilaciones interanuales y marcados ciclos secos y períodos húmedos.



**Figura 4.22:** Pulsos en la denominada Pequeña Edad de Hielo (Cioccale, 1999).

Para la laguna Adela, según Dangvas y Mormeneo (2012) este período está representado por la **Formación La Postrera IV**. Consiste en limos arenosos friables, de color castaño oscuro, de estructura granular a bloques subangulares pequeños y con abundante bioturbación.



**Figura 4.23:** Pequeña edad de Hielo (Cioccale, 1999).

El análisis completo de los sucesivos cambios climáticos permite determinar que las lagunas del sur de Córdoba han tenido inicio desde los procesos de excavación eólica producidos en el Pleistoceno tardío, durante las acciones eólicas que conformaron cubetas de deflación y partir de este momento estuvieron sujetas a cambios ambientales sucesivos, húmedos y secos que dejaron en su registro sedimentario una secuencia que refleja los cambios evolutivos de las mismas.

Las etapas rexistásticas se caracterizaron por clima predominantemente frío y seco, deflación, excavación de cubetas, generación de pans, playas, sabkhas y/o lagos salados, con precipitación de yeso, calcita, dolomita, pelletización y acumulación de depósitos eólicos. En tanto las etapas biostásticas fueron cálidas y húmedas, donde predominó el modelado, el aluvionamiento en los sucesivos ambientes acuáticos alojados en las cubetas eólicas y la pedogénesis en los afloramientos (Dangavs y Mormeneo, 2012). El clima actual posee una alta influencia en su comportamiento.

## V. QUINTO BLOQUE

### CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

La morfología es la ciencia que tiene por objetivo el estudio de la forma de determinado elemento, organismo o sistema. En el caso de un lago, la forma es el resultado, tanto de los procesos que lo originaron, como de su posterior evolución en el tiempo. Similarmente, la morfometría trata de la cuantificación de las formas del lago y de sus elementos (Håkanson, 1981).

La importancia del estudio del análisis morfométrico radica en que la forma del cuerpo de agua es uno de los determinantes junto con el clima y el tipo de suelos de la cuenca de drenaje, de su productividad biológica (Quirós, 2004), pero sobre todo un estudio morfométrico es elemental para establecer la relación de estos cuerpos acuáticos con los paleoclimas del pasado y estudiar su génesis debido a los sucesivos cambios ambientales. Así, la morfometría lagunar está en función de los factores climáticos, litológicos y uso del suelo predominantemente.

Los parámetros morfométricos son utilizados además, para conocer el contenido calórico y la estabilidad de la columna de agua, las tasas de ciclaje de nutrientes y otros componentes estructurales y funcionales del ecosistema, incluyendo los procesos evolutivos del sistema lacustre como la erosión (Wetzel y Likens, 1979).

#### Parámetros morfométricos

##### *Área (A)*

El área lagunar es un parámetro morfométrico que varía en función de las precipitaciones y la evaporación. Esta característica es muy importante teniendo en cuenta que la zona de estudio se ubica en un área con presencia de un clima templado estacional con alternancia de períodos secos y húmedos, donde el estrés hídrico ocurre principalmente entre agosto-septiembre y entre diciembre-enero debido a la escasa precipitación o a la elevada evapotranspiración respectivamente. Para el caso de las lagunas inmersas en el “Mar de Arena Pampeano” (Fig. 5.1) distribuidas en la provincia de Santa Fe, Córdoba, La Pampa y Buenos Aires el valor medio correspondiente es de 3,43 km<sup>2</sup>. Su mediana posee un valor de 1,37 km<sup>2</sup> y su desviación estándar es de 13,26. Posee un valor mínimo de 0,087 km<sup>2</sup> y su valor máximo es de 258,18 km<sup>2</sup>. El conjunto de lagunas del “Mar de arena pampeano” de estas cuatro provincias suma una superficie total de 1634,53 km<sup>2</sup> (Tabla 5.1).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Area	477	3,43	13,28	0,09	258,18	1,37

**Tabla 5.1:** Valores Estadísticos.

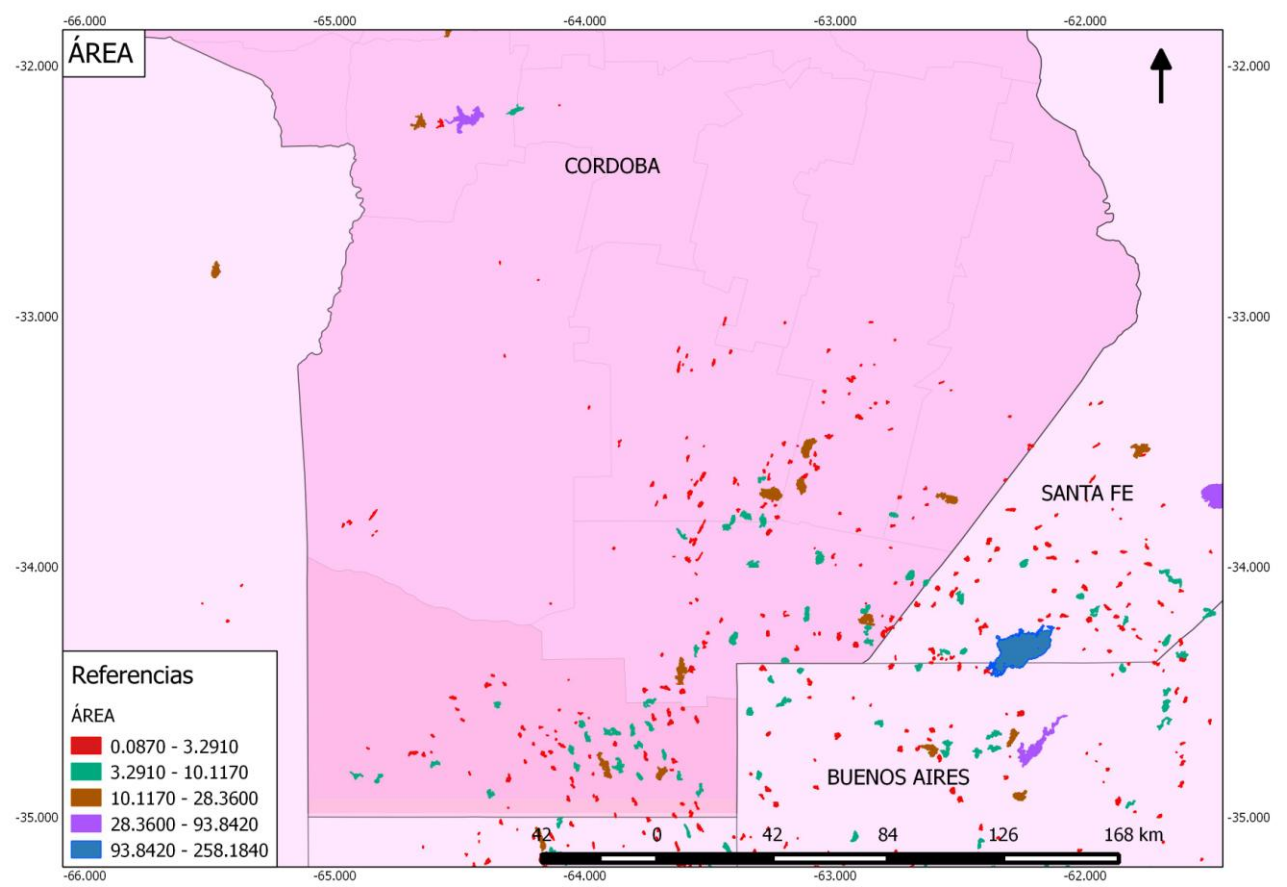


Figura 5.1: Clasificación de las lagunas en función del área en el “Mar de Arena Pampeano”.

*Distribución de frecuencias de área*

Casi el 99% de las lagunas del “Mar de Arena Pampeano” poseen un área menor a los 32,35km<sup>2</sup>. Algunas excepciones, como ser la laguna La Picasa (A= 258,18km<sup>2</sup>) ubicada en la provincia de Santa Fe, poseen áreas mayores a este valor (Fig. 5.2 y Tabla 5.2).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Area	1	[ 0,09	32,35 ]	16,22	473	0,99
Area	2	( 32,35	64,61 ]	48,48	2	4,2E-03
Area	3	( 64,61	96,87 ]	80,74	1	2,1E-03
Area	4	( 96,87	129,14 ]	113,00	0	0,00
Area	5	( 129,14	161,40 ]	145,27	0	0,00
Area	6	( 161,40	193,66 ]	177,53	0	0,00
Area	7	( 193,66	225,92 ]	209,79	0	0,00
Area	8	( 225,92	258,18 ]	242,05	1	2,1E-03

Tabla 5.2: Distribución de frecuencias de área.



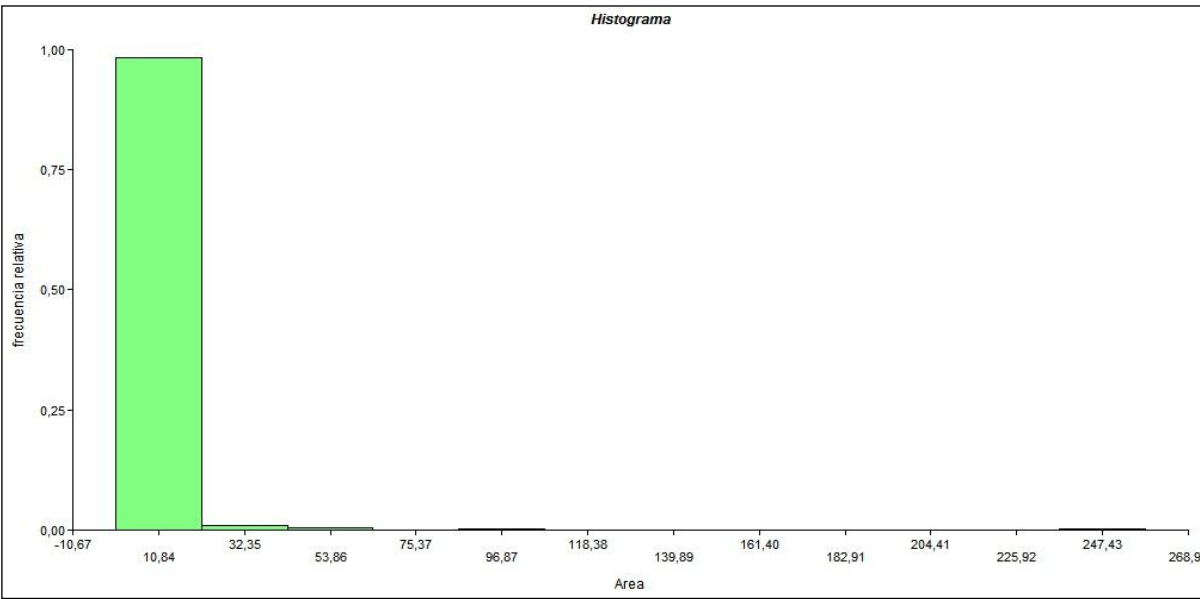


Figura 5.2: Histograma.

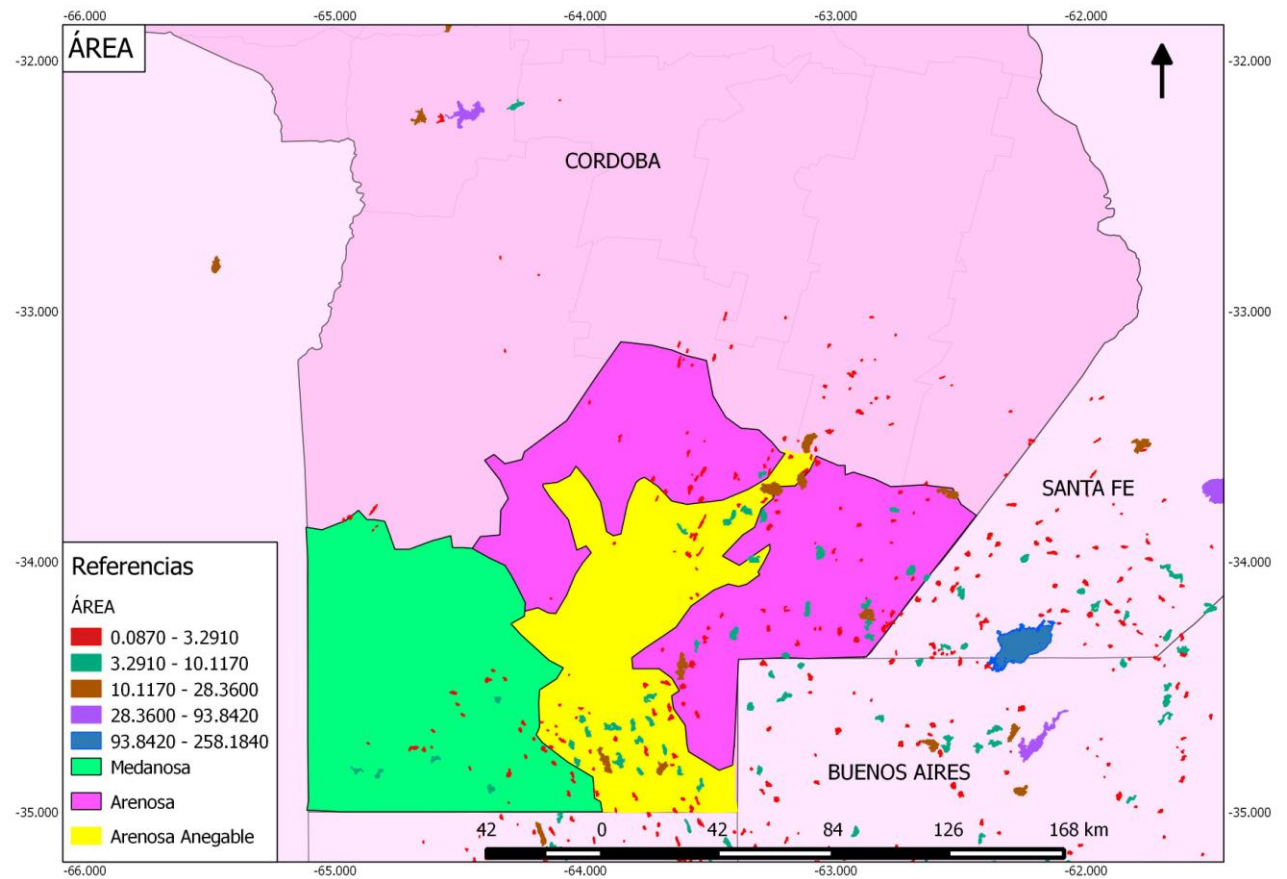
Según la clasificación de Dan Lindgren y Håkanson (2011) las lagunas con valores de área menores a los 10 km<sup>2</sup> se ubican dentro del campo de lagunas de dimensiones muy pequeñas (Tabla 5.3). En el caso de los cuerpos de agua inmersos en las provincias mencionadas anteriormente, los valores de área promedio demuestran ser, menores a este valor por lo que la clasificación de lagunas muy pequeñas se ajusta perfectamente a los resultados del área de estudio.

Área (km)	Nombre de la Clase
>10.000	Muy grandes
1000-10.000	Grandes
100-1000	Intermedias
10-100	Pequeñas
<10	Muy pequeñas

Tabla 5.3: Clasificación del área según Dan Lindgren y Lars Håkanson (2011).

**-El área en las unidades geomorfológicas del sur de Córdoba**

Para realizar el estudio de los parámetros morfométricos de las lagunas pampeanas del sur de Córdoba se dividió a la planicie arenosa del sur en las tres unidades geomorfológicas propuestas por Jarsún *et al.* (2006) para el estudio y caracterización de suelos de la provincia. Estas unidades son: Pampa Medanosa, Pampa Arenosa Anegable y Pampa Arenosa (Fig. 5.3).



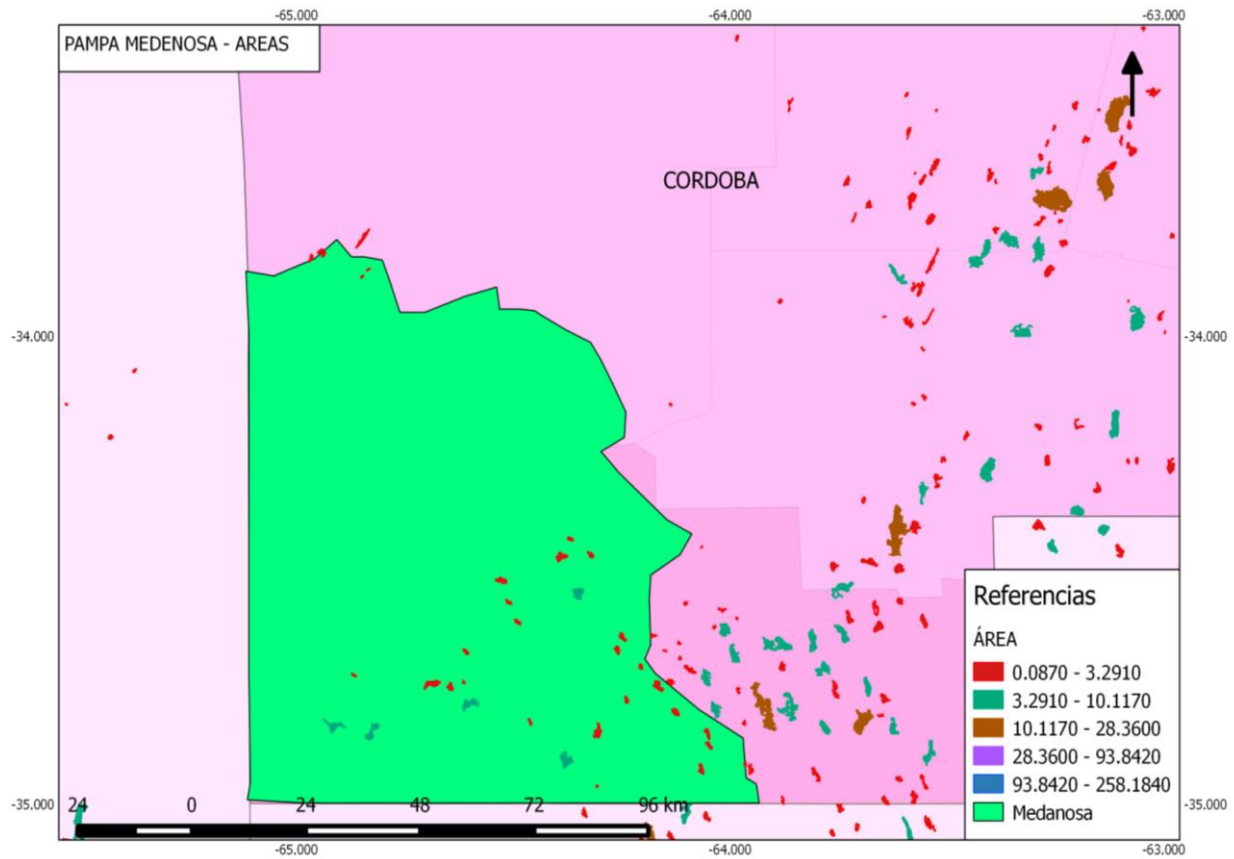
**Fig. 5.3:** El área en la unidades geomorfológicas del Sur de Córdoba.

**-Pampa Medanosa**

Dentro de la unidad geomorfológica Pampa Medanosa (Fig. 5.4), los cuerpos de agua (n= 30) presentan un área media de 1,69 km<sup>2</sup>, una mediana de 1,35 km<sup>2</sup> y valores mínimos y máximos de 0,21 km<sup>2</sup> y 5,13 km<sup>2</sup> (Laguna del Bajo, Huinca Renancó) respectivamente. Su desviación Estándar es igual a 1,36. Las 30 lagunas de la pampa medianosa suman una superficie de 50,65 km<sup>2</sup>(Tabla 5.4).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Area	30	1,69	1,36	0,21	5,13

**Tabla 5.4:** Valores estadísticos.



**Figura 5.4:** Clasificación de áreas en lagunas de la Pampa Medenosa.



**Figura 5.5:** Laguna del Bajo, valor máximo de área igual a 5,13 km<sup>2</sup>, Huinca Renancó.

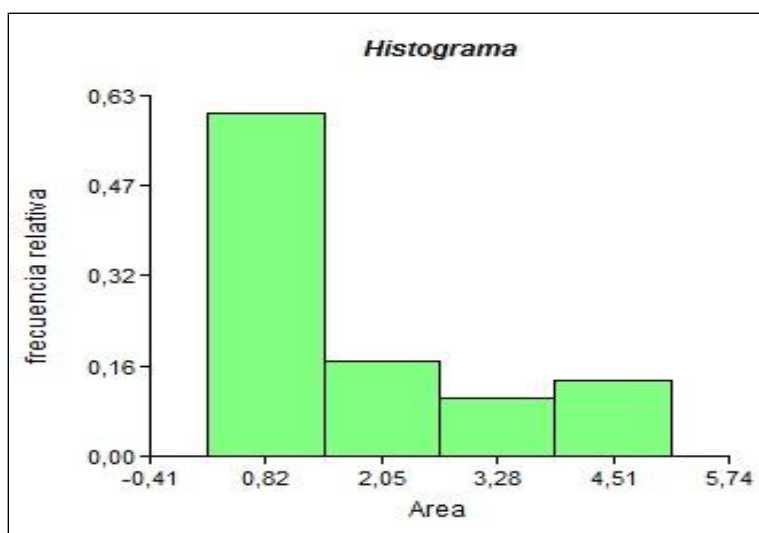
*Distribución de frecuencias de área*

El 60% de las lagunas (n=18) de la Pampa Medanosa poseen un área menor a 1,44 km<sup>2</sup>. Las áreas mayores tan solo alcanzan valores menores a los 5,13 km<sup>2</sup>. (Tabla 5.5).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Area	1	[ 0,21 1,44 ]		0,82	18	0,60
Area	2	( 1,44 2,67 ]		2,05	5	0,17
Area	3	( 2,67 3,90 ]		3,28	3	0,10
Area	4	( 3,90 5,13 ]		4,51	4	0,13

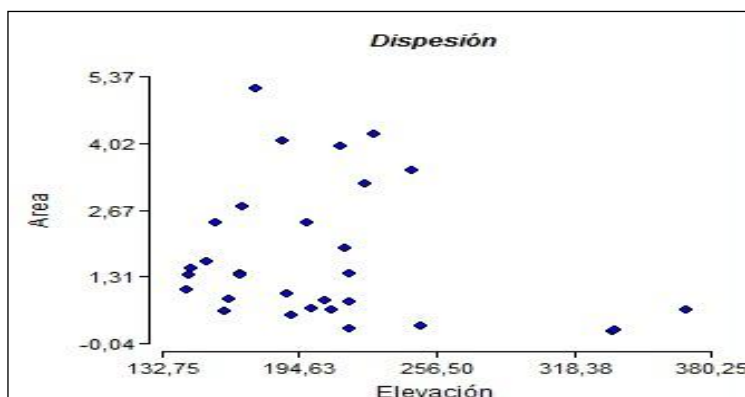
**Tabla 5.5:** Distribución de frecuencias.

En la unidad geomorfológica Pampa Medanosa se observa una heterogeneidad en el tamaño de las lagunas, en donde si bien las dimensiones son de pequeño valor, la distribución de las mismas abarca las cuatro clases de áreas presentes establecidas. Déficit de los tamaños más grandes (Fig. 5.6).



**Figura 5.6:** Histograma.

Las lagunas se encuentran dispersas en el espacio, frecuentando las regiones más deprimidas de menor altura (Fig. 5.7). Desarrollan mayores valores de área a partir de los 256,50 m, es decir, al disminuir la altitud.



**Figura 5.7:** Dispersión de las lagunas según la elevación.

**-Pampa Arenosa Anegable**

La unidad geomorfológica Pampa Arenosa Anegable (fig. 5.8) presenta cuerpos de agua (n=73) cuya media del área es igual a 3,14 km<sup>2</sup> con una mediana de 1,79 km<sup>2</sup>. Su valor mínimo es de 0,14 km<sup>2</sup> y su máximo de 28,36 km<sup>2</sup>. La desviación estándar es igual a 4,36. El conjunto de las 73 lagunas de la Pampa Arenosa Anegable suma una superficie total de 229,55 km<sup>2</sup>.

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Area	73	3,14	4,36	0,14	28,36	1,79

Tabla 5.6: Valores estadísticos.

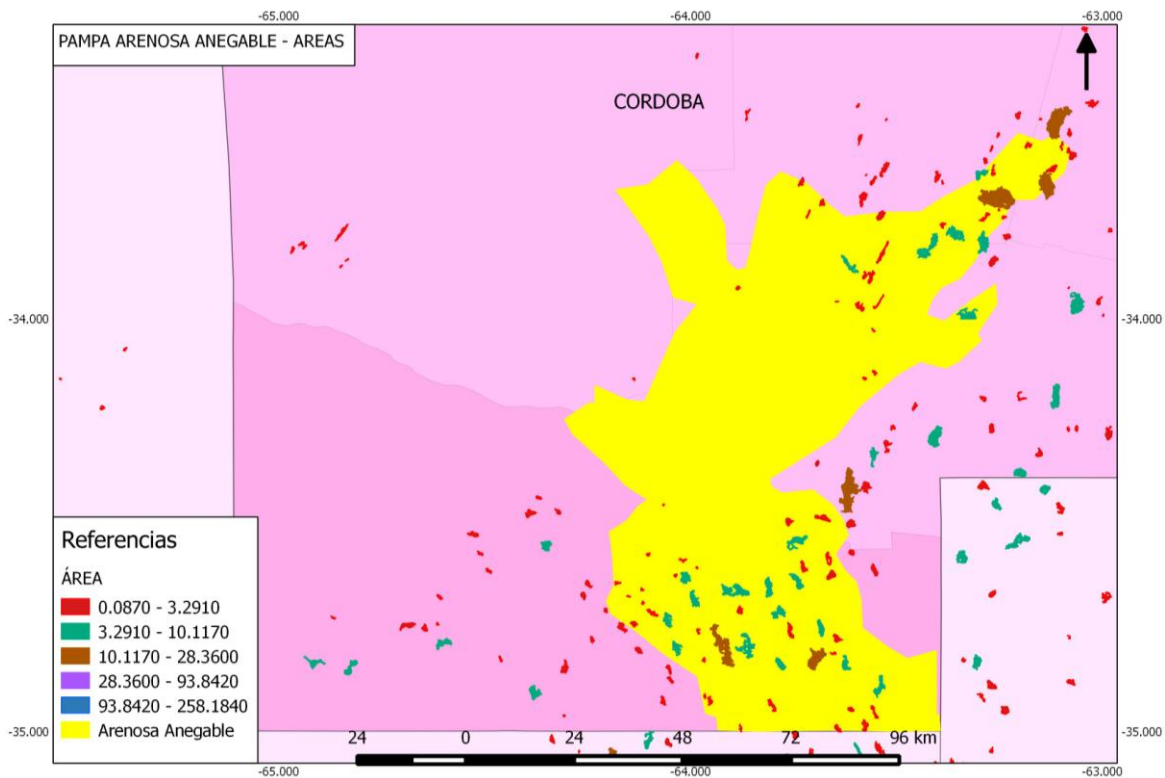


Figura 5.8: Clasificación de áreas de las lagunas en la Pampa Arenosa Anegable.

*Distribución de frecuencias de área*

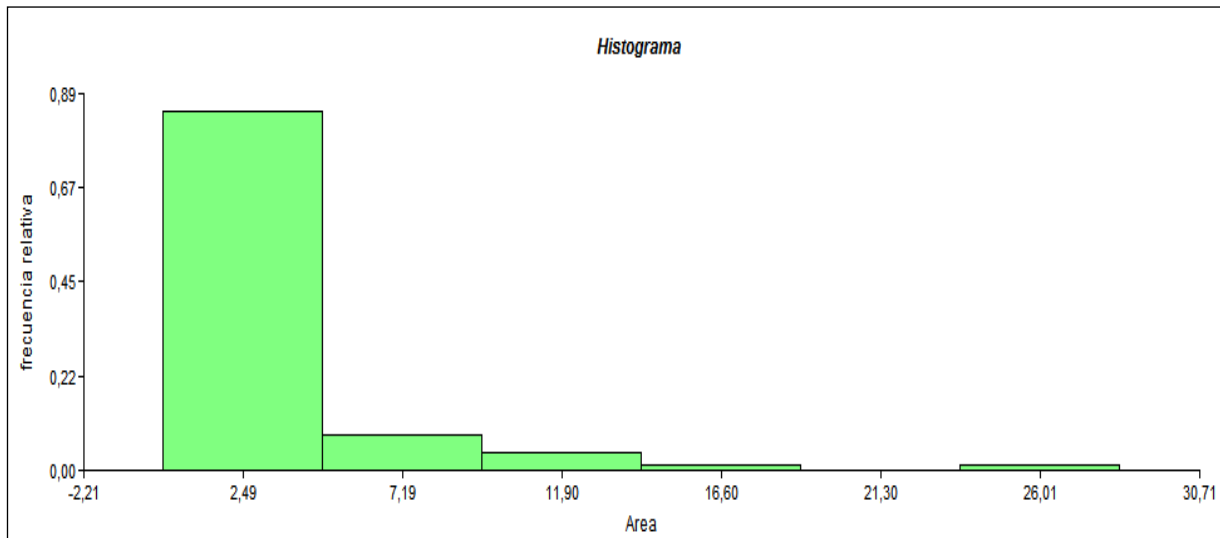
En esta unidad se manifiestan y se hacen presentes las lagunas con las mayores áreas. El 85% de los cuerpos de agua poseen valores menores a los 4,84 km<sup>2</sup>. Hay 5 lagunas con parámetros de área mayores a los 10 km<sup>2</sup> (Tabla 5.7).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Area	1	[ 0,14	4,84 ]	2,49	62	0,85
Area	2	( 4,84	9,54 ]	7,19	6	0,08
Area	3	( 9,54	14,25 ]	11,90	3	0,04
Area	4	( 14,25	18,95 ]	16,60	1	0,01
Area	5	( 18,95	23,66 ]	21,30	0	0,00
Area	6	( 23,66	28,36 ]	26,01	1	0,01

Tabla 5.7: Distribución de frecuencias de área.

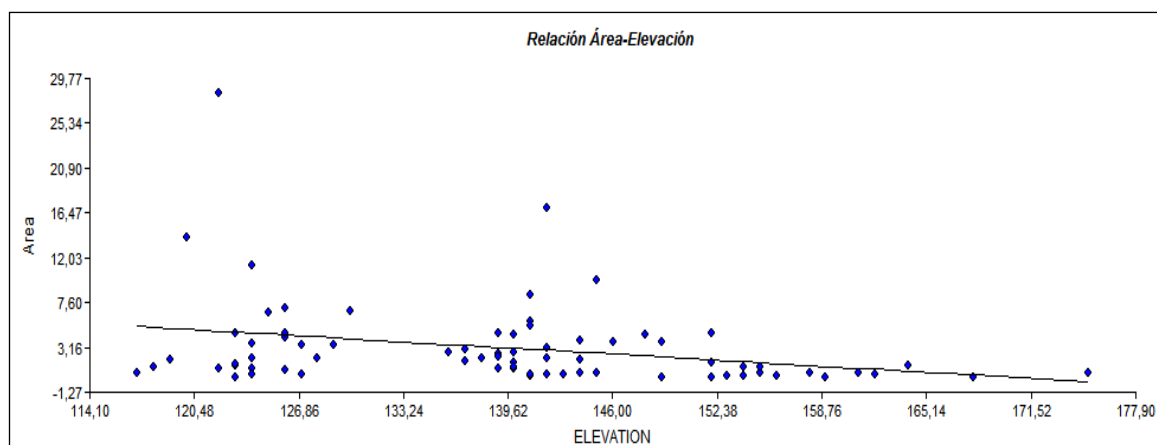


El histograma de áreas de la Pampa Arenosa Anegable (Fig. 5.9), agrupadas en 6 clases de tamaño, muestra una distribución continua de tamaños, pero con ausencia de lagunas en la clase 5.



**Figura 5.9:** Histograma.

La elevación, en la Pampa Arenosa Anegable, tiene un suave efecto sobre las dimensiones y aéreas desarrolladas por los cuerpos lacustres. Se puede establecer que a mayor altura las áreas empiezan a disminuir (Fig. 5.10). A partir de los 152 m en adelante, éstas no presentan grandes valores manteniéndose por debajo de los 3 km<sup>2</sup>. Este patrón se ajusta perfectamente al de un relieve deprimido donde hay abundancia de cuerpos lacustres, los cuales tienden a desaparecer al aumentar la altitud.



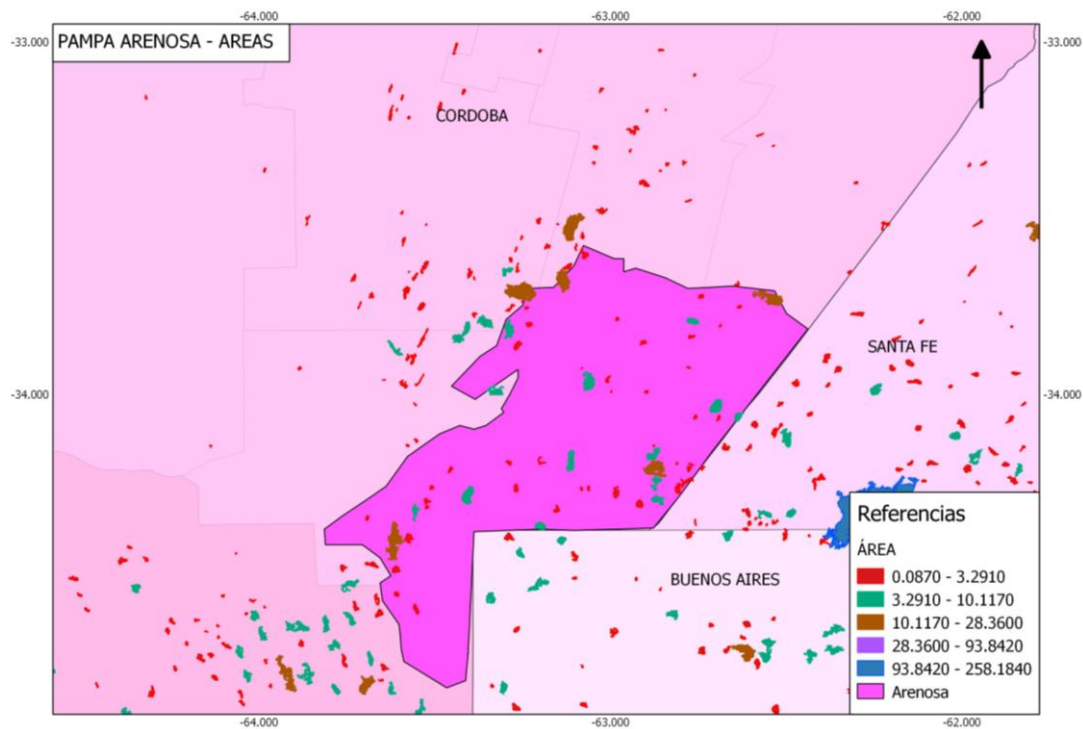
**Figura 5.10:** Relación del desarrollo de áreas respecto a la elevación.

**-Pampa Arenosa**

Dentro de la unidad geomorfológica Pampa Arenosa (Fig. 5.11), al sureste de la provincia de Córdoba, las lagunas (n=42) presentan una media del área igual a 3,13 km<sup>2</sup> y una mediana de 1,21 km<sup>2</sup>. Sus valores mínimos y máximos son igual a 0,10 km<sup>2</sup> y 23,10 km<sup>2</sup> (Laguna La Amarga) respectivamente. Posee una desviación estándar de 4,51 (Tabla 5.8). El total de las lagunas de esta unidad suman una superficie de 131,63 km<sup>2</sup>.

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Area	42	3.13	4.51	0.10	23.10	1.21

**Tabla 5.8:** Valores estadísticos.



**Figura 5.11:** Clasificación de áreas en las lagunas de la Pampa Arenosa.

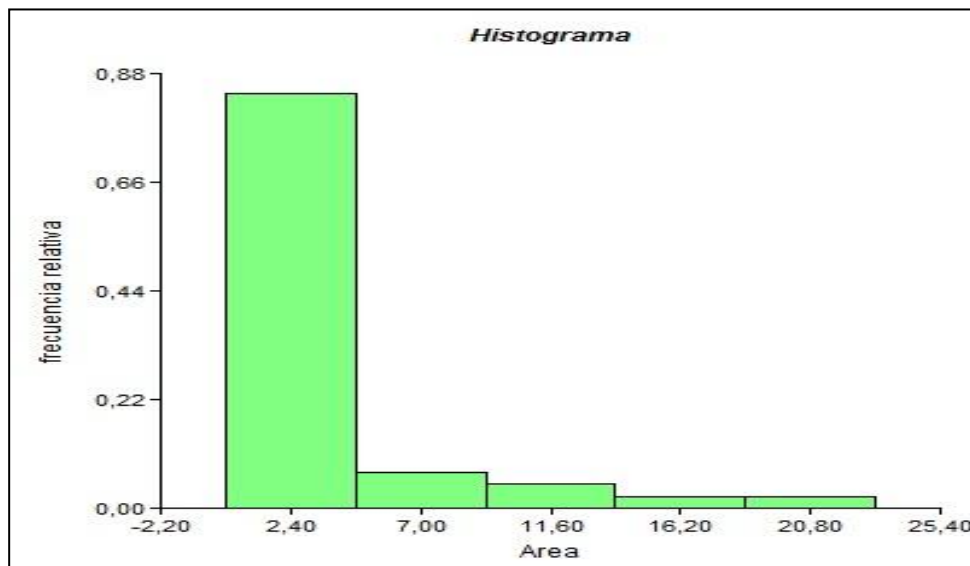
*Distribución de frecuencias de área*

El 83% (n=35) de las lagunas ubicadas dentro de la unidad geomorfológica Pampa Arenosa responden a valores de áreas menores a los 4,70 km<sup>2</sup> (Tabla 5.9).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Area	1 [ 0,10 4,70 ]	2,40	35	0,83		
Area	2 ( 4,70 9,30 ]	7,00	3	0,07		
Area	3 ( 9,30 13,90 ]	11,60	2	0,05		
Area	4 ( 13,90 18,50 ]	16,20	1	0,02		
Area	5 ( 18,50 23,10 ]	20,80	1	0,02		

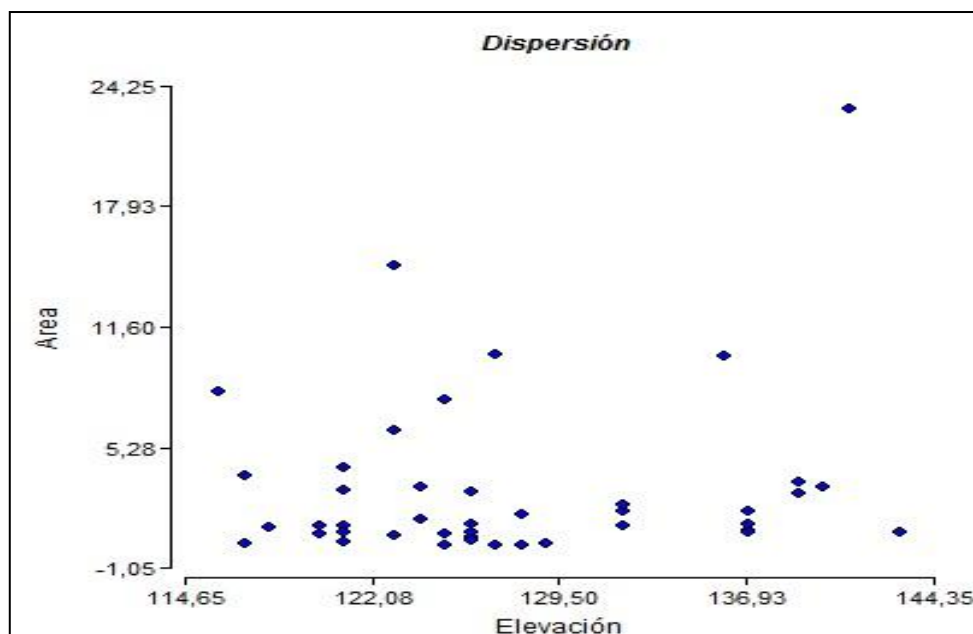
**Tabla 5.9:** Distribución de frecuencias.

El histograma (Fig. 5.12), demuestra la mayoría de las lagunas recayendo en la clase 1, es decir, dentro de un rango de áreas desde los 0,10 km<sup>2</sup> a los 4,70 km<sup>2</sup>. Distribución continua de tamaños.

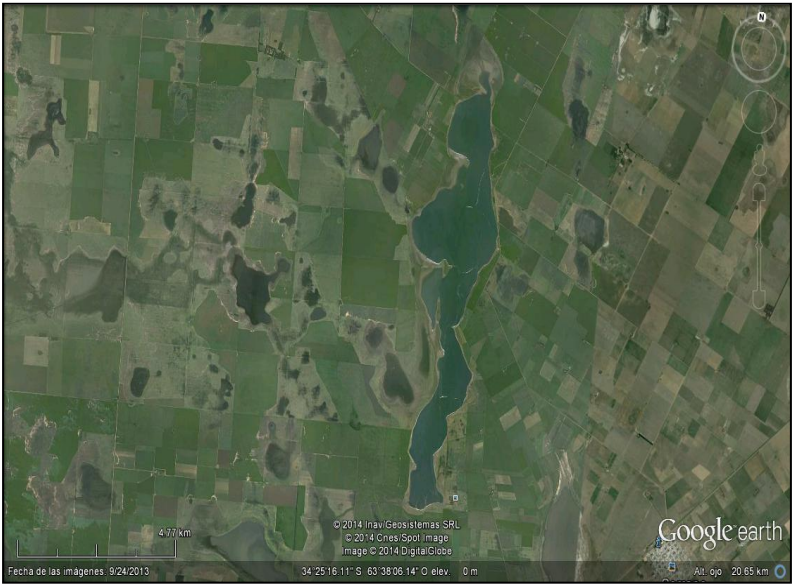


**Figura 5.12:** Histograma.

Las lagunas se encuentran distribuidas en la pampa arenosa con el mayor número de ellas presentes a menor elevación (Fig. 5.13). La laguna La Amarga, de 23,10km<sup>2</sup>, ubicada dentro de esta unidad, es un punto de desembocadura del río Quinto, por ello, su gran dimensión areal (Fig. 5.13). Esta laguna se encuentra alimentada por canales que encausan el río a lo largo de su recorrido.



**Figura 5.13:** Dispersión de las lagunas en función de la altitud.

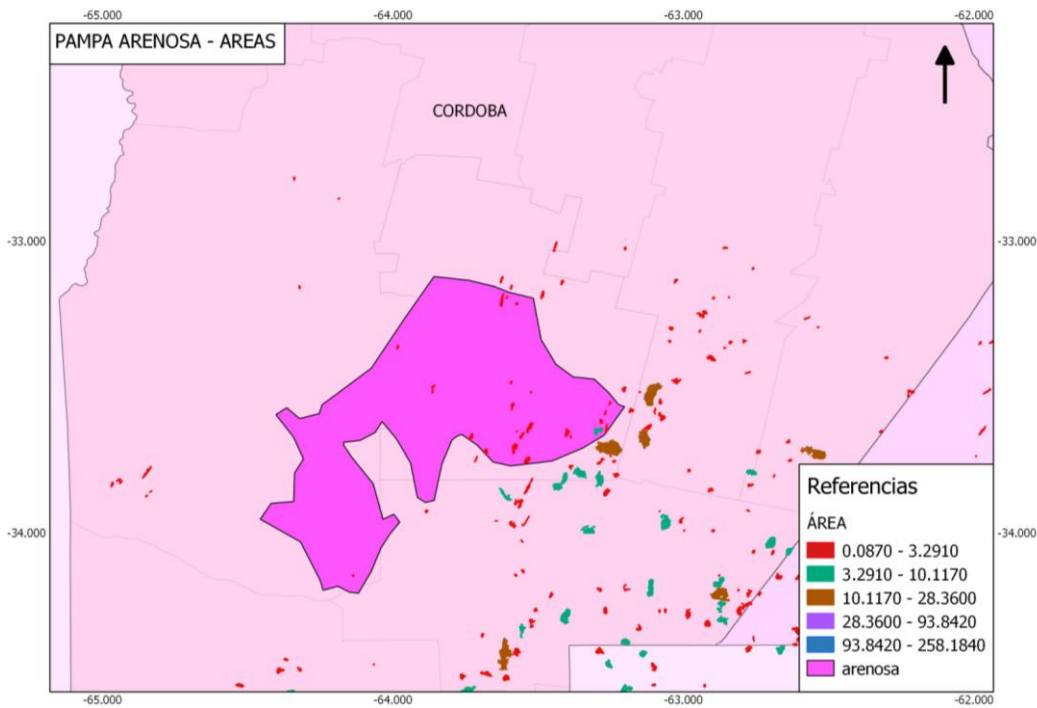


**Figura 5.14:** Laguna La Amarga, área igual a 23,10km<sup>2</sup>

La unidad Pampa Arenosa vuelve a aparecer al norte con un número de lagunas mucho menor (21) y con una media de su área igual a 0,99, es decir, con cuerpos de agua de muy pequeñas dimensiones con tan solo una máxima de 3,47 y una mínima de 0,09 (Tabla 5.10 y Fig. 5.15).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Area	21	0.99	0.98	0.09	3.47	0.52

**Tabla 5.10:** Valores Estadísticos.



**Figura 5.15:** Lagunas inmersas en la Pampa Arenosa al norte de la Planicie Eólica Arenosa del Sur.

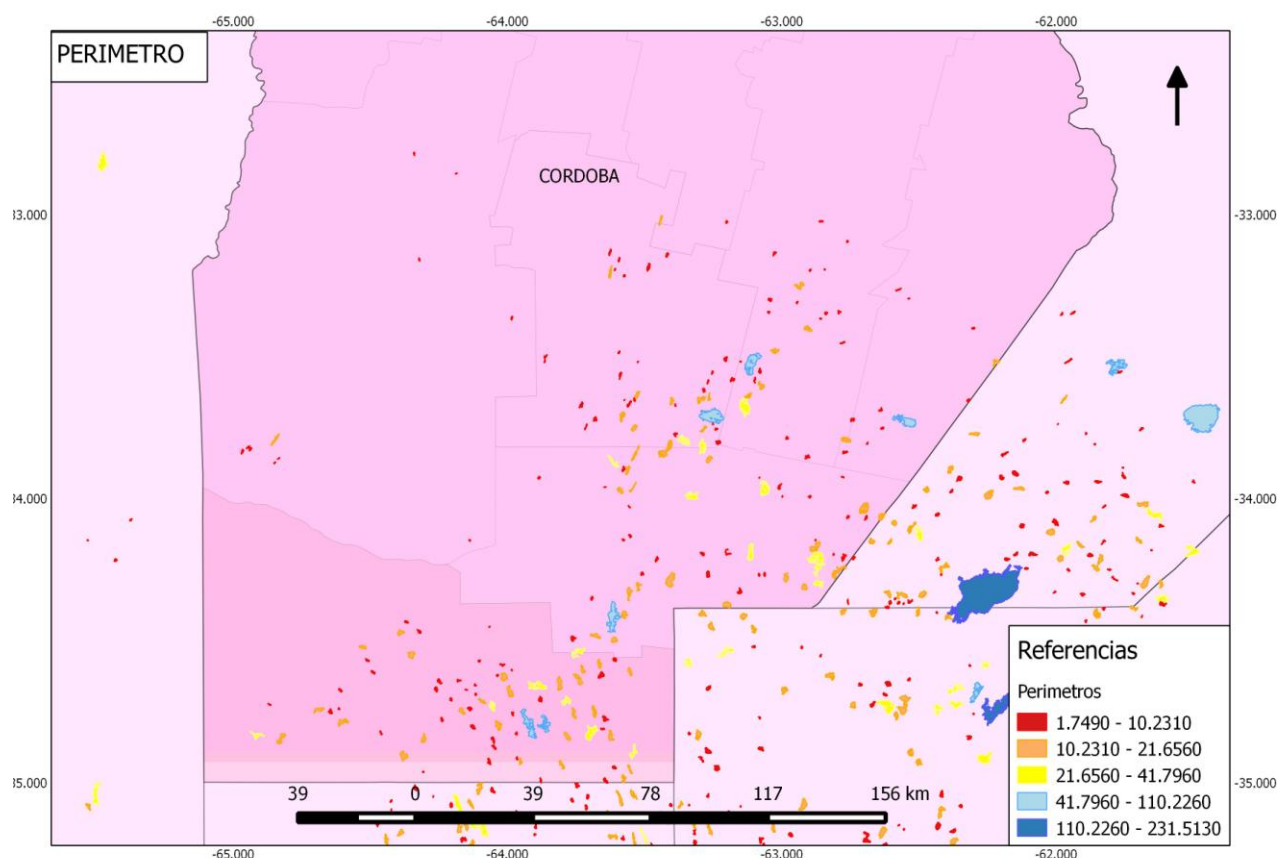
### Perímetro (P)

El perímetro se define como la línea de intersección de la tierra con la superficie del lago. Este parámetro morfométrico, al igual que el área, varía en función de las precipitaciones y la evaporación. Debido a esto, el perímetro puede fluctuar enormemente en los lagos de vida efímera, y sobre todo en embalses, a causa de las variaciones debidas a precipitación y descargas del agua.

Para las lagunas del “mar de arena pampeano” de las provincias de Córdoba, Santa Fe, La Pampa Buenos Aires, éstas presentan un valor medio de 12,74 km, y una mediana igual a 8,71 (Fig. 5.16). Poseen un valor de perímetro máximo igual a 231,51 km y un valor mínimo de 1,75. La desviación estándar es de 16,77 (Tabla 5.11). El conjunto de las 477 lagunas suma un perímetro total de 6078,752 km.

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
perímetro	477	12,74	16,77	1,75	231,51	8,71

**Tabla 5.11:** Valores estadísticos de perímetro.



**Figura 5.16:** El perímetro en el “Mar de Arena Pampeano”.

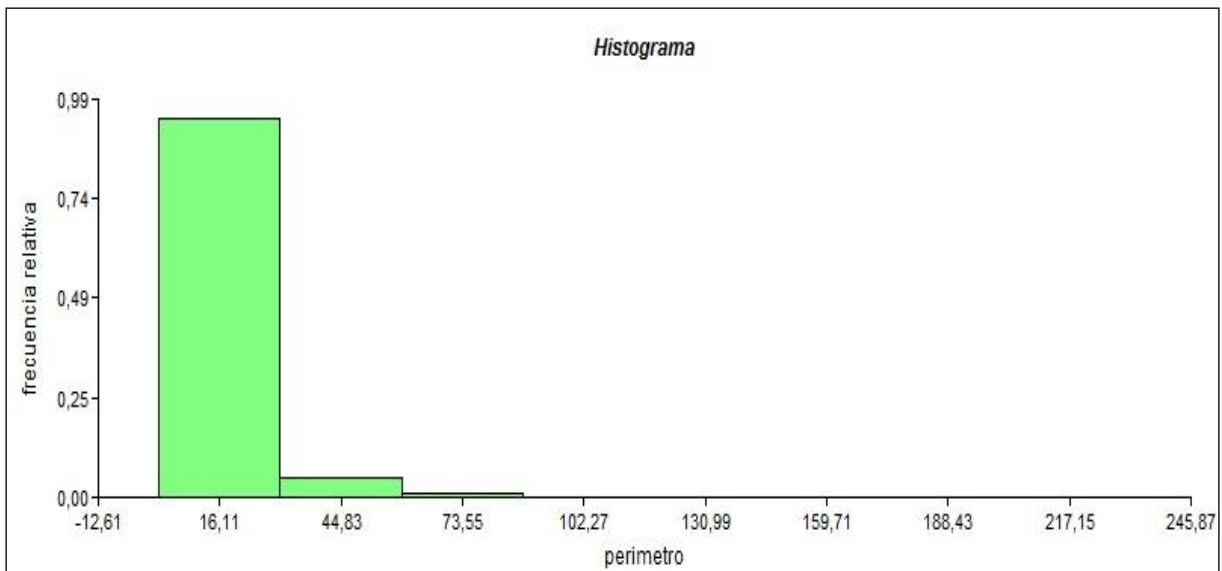


*Distribución de frecuencias de perímetros*

La tabla de frecuencias indica que el 94% de las lagunas poseen un perímetro menor a los 30,47 km (n=448) (Tabla 5.12 y Fig. 5.17).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
perimetro	1	[ 1,75	30,47 ]	16,11	448	0,94
perimetro	2	( 30,47	59,19 ]	44,83	22	0,05
perimetro	3	( 59,19	87,91 ]	73,55	4	0,01
perimetro	4	( 87,91	116,63 ]	102,27	1	2,1E-03
perimetro	5	( 116,63	145,35 ]	130,99	0	0,00
perimetro	6	( 145,35	174,07 ]	159,71	1	2,1E-03
perimetro	7	( 174,07	202,79 ]	188,43	0	0,00
perimetro	8	( 202,79	231,51 ]	217,15	1	2,1E-03

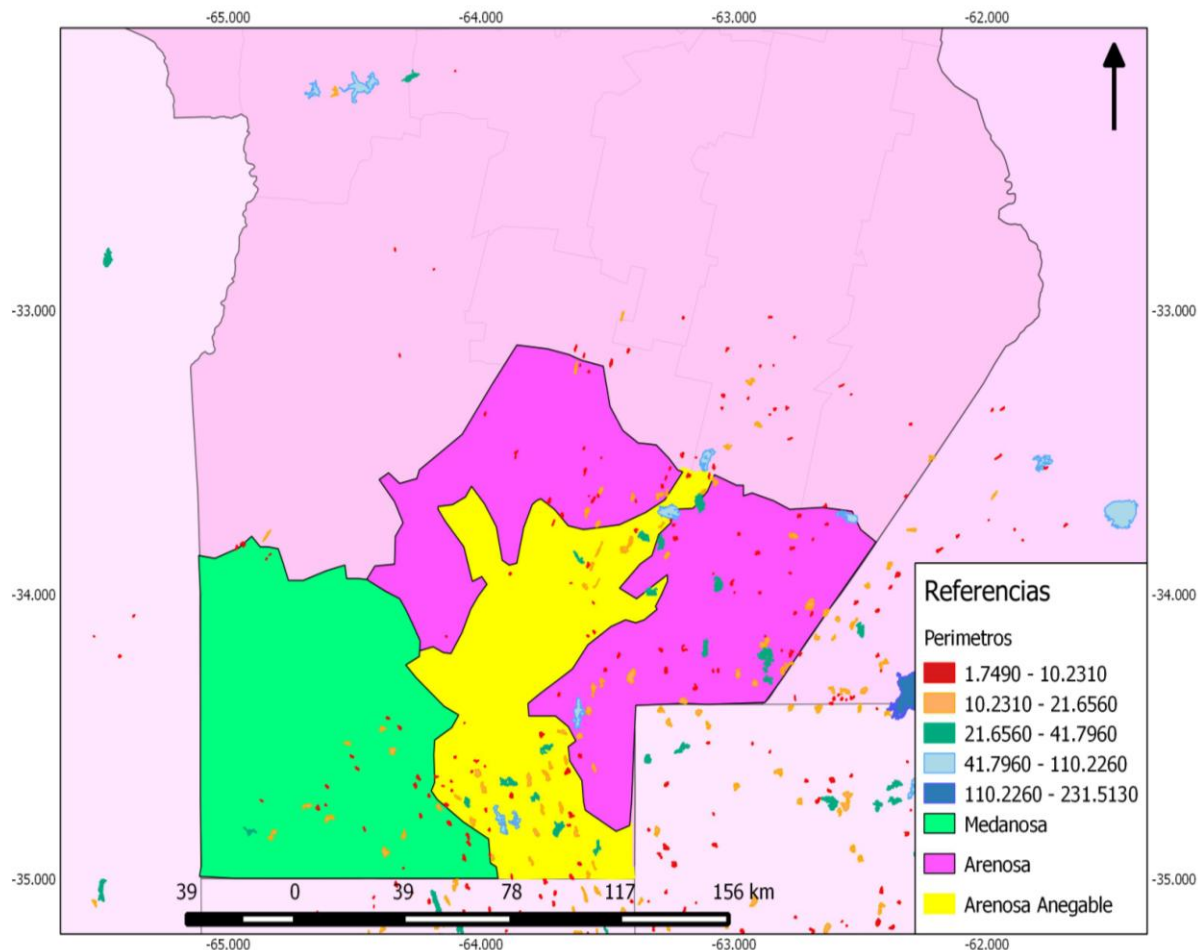
**Tabla 5.12:** Valores de frecuencia de perímetros.



**Figura 5.17:** Histograma.

**-El perímetro en las unidades geomorfológicas del sur de Córdoba**

Al igual que para el análisis del área, para realizar el estudio del perímetro de las lagunas pampeanas del sur de la provincia de Córdoba se dividió a la planicie arenosa del sur en las 3 unidades geomorfológicas propuestas por Jarsún *et al.* (2006) para el estudio y caracterización de suelos de la provincia. Estas unidades son: Pampa Medanosa, Pampa Arenosa Anegable y Pampa Arenosa (Fig. 5.18).



**Figura 5.18:** Clasificación de lagunas en función del perímetro.

**Pampa Medanosa**

Dentro de esta unidad geomorfológica la media del perímetro tiene un valor medio de 9,20km. Su valor máximo y mínimo corresponde a 25,96 km y 2,95 km respectivamente. Posee una mediana de 7,45km y una desviación estándar de 5,31 (Tabla 5.13). El conjunto de las 30 lagunas de la pampa medanosa suma un total de longitud de costa de 276,09 km.

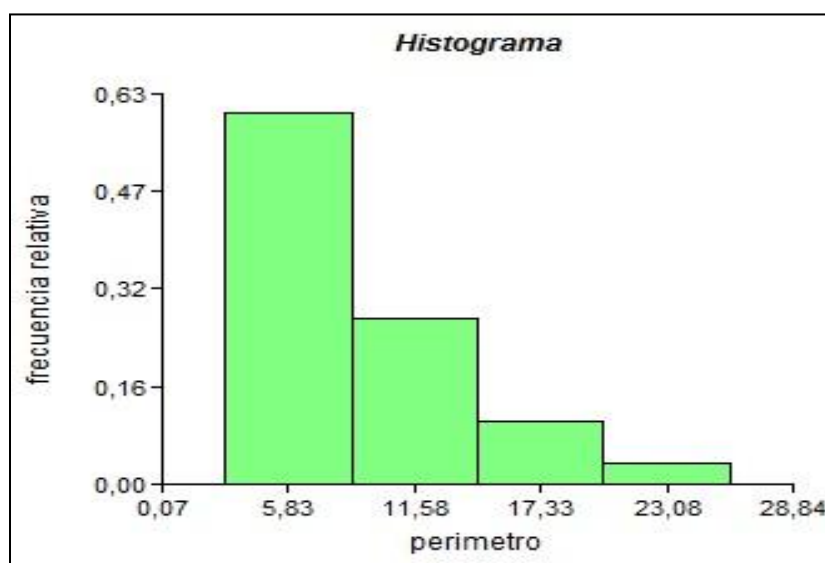
Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
perimetro	30	9,20	5,31	2,95	25,96	7,45

**Tabla 5.13:** Valores estadísticos de perímetro.

### *Distribución de frecuencias de perímetros*

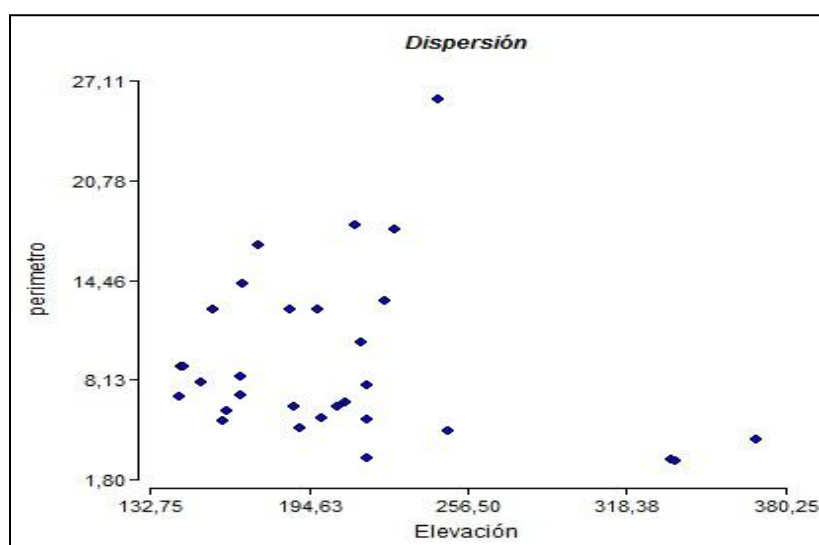
Hay 18 lagunas (60%) con menos de 8,70 km de costa (Tabla 5.14). El resto se distribuye en valores mayores. La máxima es de 25,96 km. Diversidad de perímetros (Fig.5.19).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
perimetro	1	[ 2,95	8,70 ]	5,83	18	0,60
perimetro	2	( 8,70	14,46 ]	11,58	8	0,27
perimetro	3	( 14,46	20,21 ]	17,33	3	0,10
perimetro	4	( 20,21	25,96 ]	23,08	1	0,03

**Tabla 5.14:** Frecuencias de perímetros.

**Figura 5.19:** Histograma.

Las lagunas se distribuyen donde la altitud del terreno es menor (Fig. 5.20).



**Figura 5.20:** Dispersión.

### -Pampa Arenosa Anegable

Para el caso de las lagunas ubicadas dentro de la unidad geomorfológica Pampa Arenosa Anegable, las mismas poseen un perímetro cuyo valor medio es igual a 14,78 km. Sus valores mínimos y máximos corresponden a 1,97 km y a 65,72 km respectivamente. Su mediana es de 11,37 km y posee una desviación estándar igual a 12,46 (Tabla 5.15). El conjunto de las lagunas suma una longitud de costa de 1079 km.

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
perimetro	73	14,78	12,46	1,97	65,72	11,37

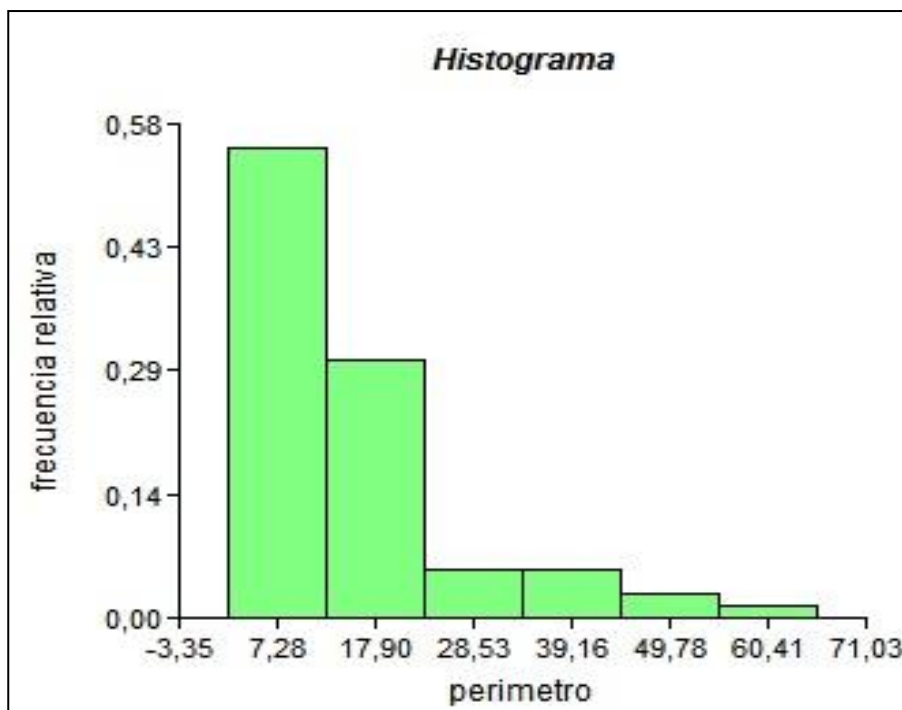
**Tabla 5.15:** Valores estadísticos.

#### *Distribución de frecuencias de perímetro*

El 55% de ellas tienen un perímetro menor a los 12,59 km (Tabla 5.16 y Fig. 5.21).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
perimetro	1	[ 1,97	12,59 ]	7,28	40	0,55
perimetro	2	( 12,59	23,22 ]	17,90	22	0,30
perimetro	3	( 23,22	33,84 ]	28,53	4	0,05
perimetro	4	( 33,84	44,47 ]	39,16	4	0,05
perimetro	5	( 44,47	55,09 ]	49,78	2	0,03
perimetro	6	( 55,09	65,72 ]	60,41	1	0,01

**Tabla 5.16:** Frecuencias de perímetro.



**Figura 5.21:** Histograma.

### -Pampa Arenosa

Las lagunas dentro de esta unidad geomorfológica (n=42) poseen un perímetro medio de 12,11 km. La máxima es de 57,81 y la mínima es igual a 1,78. La mediana es de 9,01 y poseen una desviación estándar de 10,78. La suma total del perímetro es igual a 508,62 km (Tabla 5.17).

Variable	n	Media	D.E.	Min	Máx	Mediana
perimetro	42	12,11	10,78	1,78	57,81	9,01

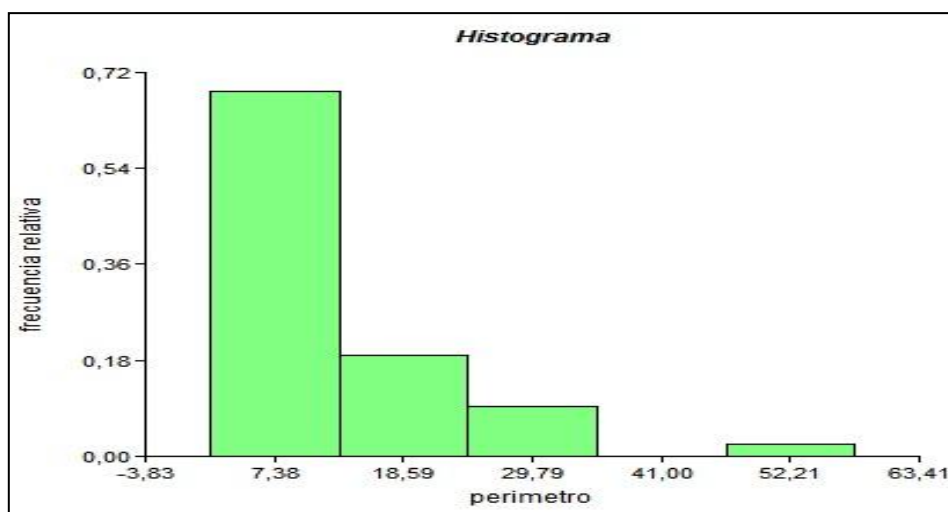
**Tabla 5.17:** Valores Estadísticos.

#### *Distribución de frecuencias de perímetro*

Hay 29 lagunas (69%) distribuidas entre los 1,78 km y los 12,98 km (Tabla 5.18). Cuanto mayor es el perímetro menor es el número de lagunas presentes (Fig. 5.22).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
perimetro	1	[ 1,78 12,98 ]	7,38	29	0,69	
perimetro	2	( 12,98 24,19 ]	18,59	8	0,19	
perimetro	3	( 24,19 35,40 ]	29,79	4	0,10	
perimetro	4	( 35,40 46,60 ]	41,00	0	0,00	
perimetro	5	( 46,60 57,81 ]	52,21	1	0,02	

**Tabla 5.18:** Frecuencias de Perímetros.



**Figura 5.22:** Histograma.

Al norte, esta unidad se vuelve a hacer presente (n=21) con valores de perímetro menores a los 21 km, con una predominancia de lagunas (n=13) con valores menores a los 6,48 km (Tabla 5.19).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
perimetro	1	[ 1,75 6,48 ]	4,11	13	0,62	
perimetro	2	( 6,48 11,21 ]	8,85	4	0,19	
perimetro	3	( 11,21 15,94 ]	13,58	2	0,10	
perimetro	4	( 15,94 20,67 ]	18,31	2	0,10	

**Tabla 5.19:** Frecuencias de perímetro.



### **Índice de desarrollo de costa (DI)**

Mide el grado de irregularidad de la costa. Esencialmente, relaciona la longitud de la costa o perímetro, con la circunferencia de un círculo que tenga la misma superficie de la laguna.

$$DI = P/2(\pi A)^{1/2}$$

Este índice puede reflejar algunos aspectos de la forma del contorno del lago, en concreto su grado de sinuosidad o articulación de la costa, así como su grado de alargamiento respecto a un círculo.

Su valor mínimo es 1, y corresponde a un círculo perfecto (el cual no se da en ningún lago de forma exacta) (Fig. 5.23).

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

-Circulares: Presentan esta forma la mayoría de los lagos en cráteres volcánicos, dolinas y pequeñas cuencas de deflación. Los valores para el DI son típicamente entre 1 y 1,25 Circular ( $1 < DI \leq 1.25$ ).

-Subcirculares: Se trata de una forma menos perfecta que la forma circular, y es mostrada por muchos circos glaciarios y por imperfectos cráteres volcánicos, dolinas y cuencas de deflación. ( $1.25 < DI < 1.5$ ):

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

-Subrectangular alargado: Esta forma es exhibida por los lagos en fosas tectónicas y los lagos glaciarios. En general este tipo de lagos tienen valores superiores a 3. Ejemplo, en los canadienses,  $1.5 \leq DI \leq 7.2$ .

-Dendrítico ( $DI > 3$ ): represamiento de un valle (embalses, lagos glaciares de Piedemonte), o de una laguna litoral.

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

-Irregulares: Corresponde a lagos muy irregulares y usualmente con un alto grado de conectividad entre ellos.



**Figura 5.23:** Principales formas de DI de la Planicie Eólica Arenosa del Sur.

Para el “Mar de Arena Pampeano” en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, La Pampa y Santa Fe, se determinó que las lagunas poseen una media del Índice de Desarrollo de Costa de 2,24, con una desviación estándar de 0,69. Su valor mínimo es de 1,28 con un máximo de 6,21. La mediana es de 2,08 (Fig. 5.24).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Dl	477	2,24	0,69	1,28	6,21	2,08

Tabla 5.20: Valores estadísticos.

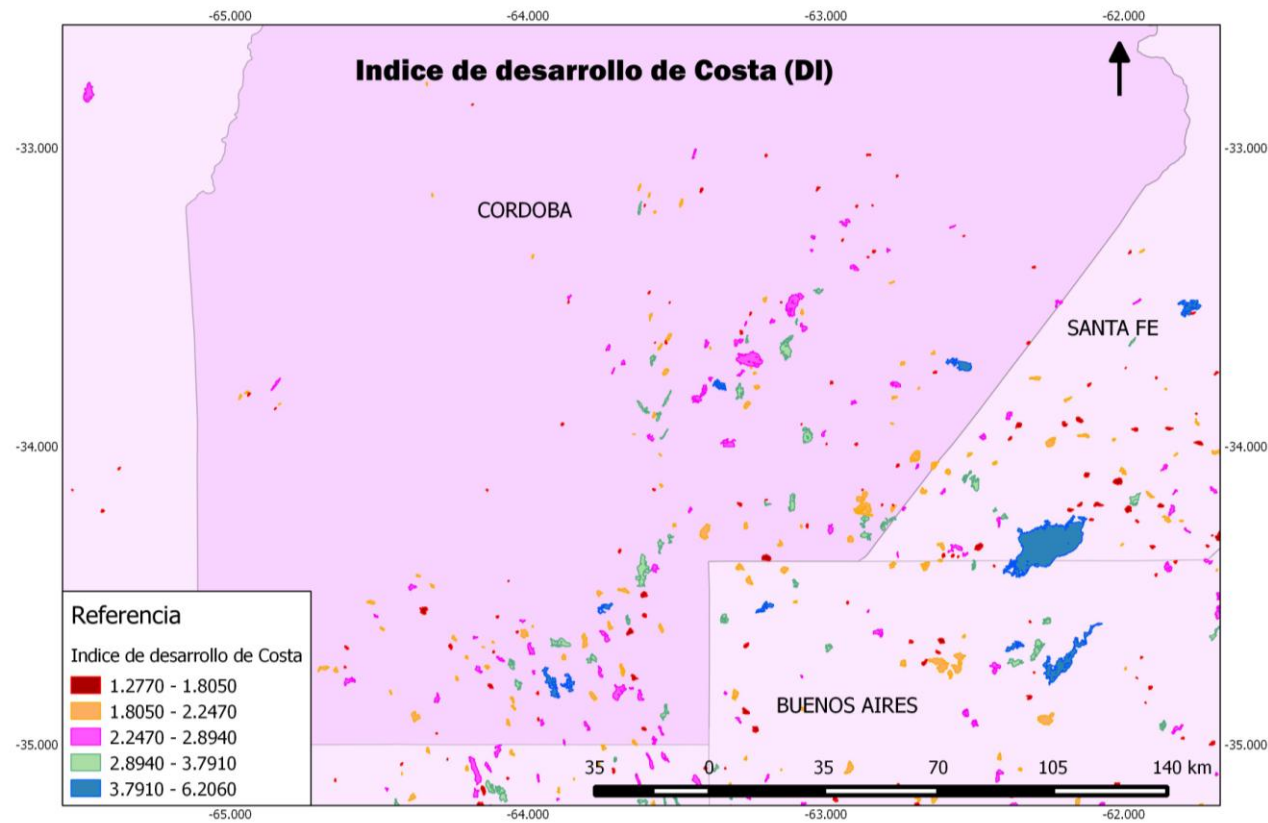


Figura 5.24: Índice de Desarrollo de Costa.

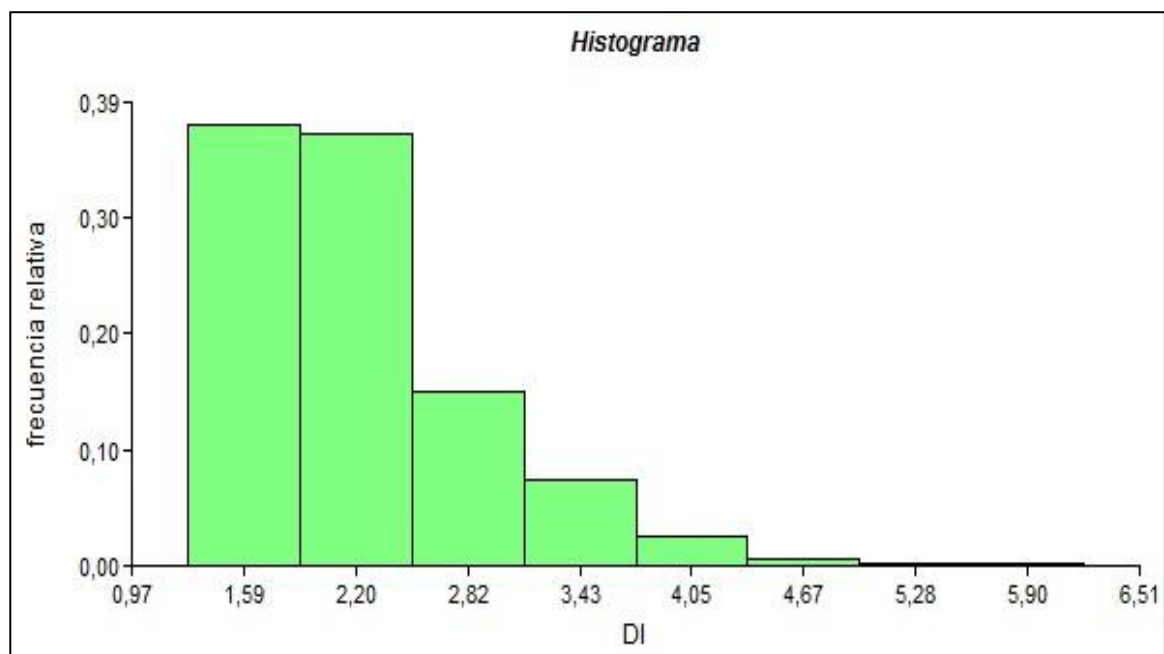
Distribución de frecuencias del índice de desarrollo de costa

El 38% de las lagunas del “Mar de Arena Pampeano”, es decir, 179 cuerpos de agua, poseen un índice de desarrollo de costa menor a 1,89 (Tabla 5.29). El 37% (n=175) se encuentran con índice mayor a este último pero con un valor menor a los 2,51. Hay 71 lagunas con un índice que varía entre los 2,51 y 3,13 y 52 cuerpos acuáticos restantes con un valor por encima de los 3,13 con una máxima de 6,21.

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Dl	1	[ 1,28	1,89 ]	1,59	179	0,38
Dl	2	( 1,89	2,51 ]	2,20	175	0,37
Dl	3	( 2,51	3,13 ]	2,82	71	0,15
Dl	4	( 3,13	3,74 ]	3,43	35	0,07
Dl	5	( 3,74	4,36 ]	4,05	12	0,03
Dl	6	( 4,36	4,97 ]	4,67	3	0,01
Dl	7	( 4,97	5,59 ]	5,28	1	2,1E-03
Dl	8	( 5,59	6,21 ]	5,90	1	2,1E-03

Tabla 5.21: Distribución de frecuencias.

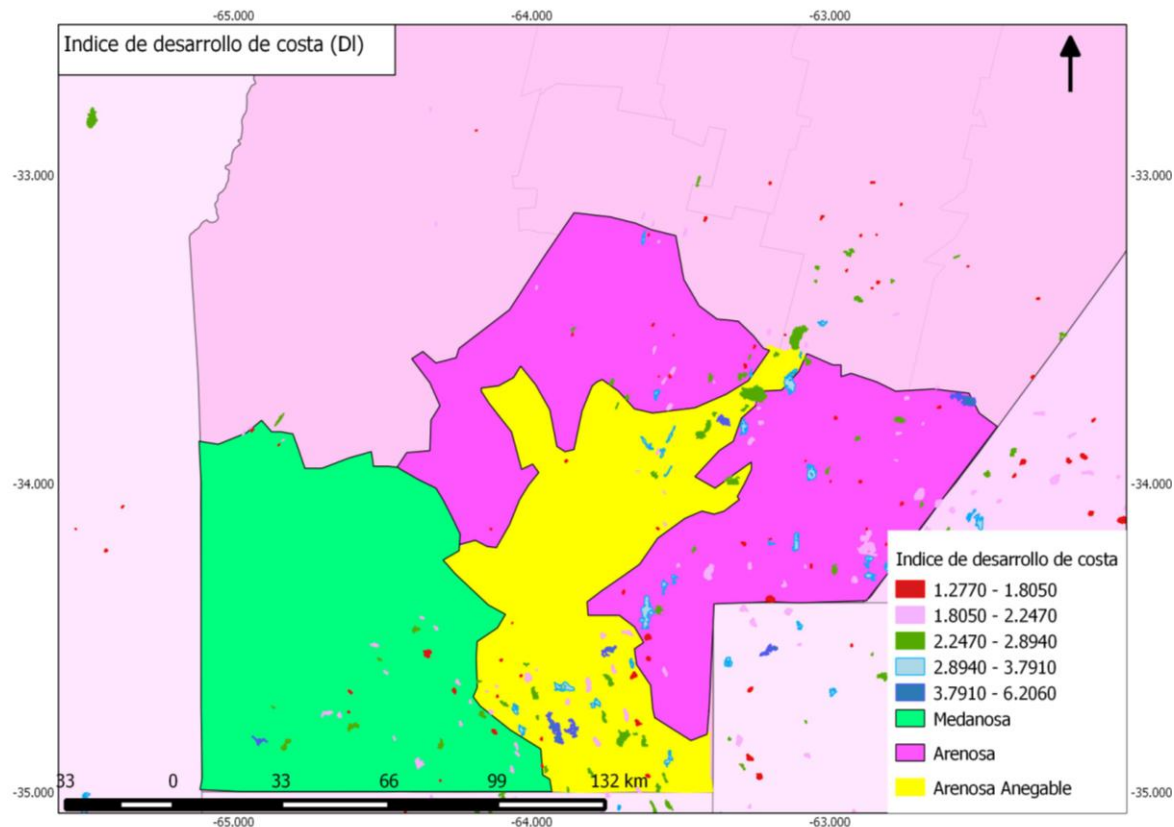
Los valores de frecuencia y el histograma correspondiente (Fig. 5.25), indican la presencia de dos grupos principales de lagunas con índices de desarrollo mayores a los 1,28 y menores a los 2,51. Estos resultados permiten establecer la presencia de lagunas con formas subcirculares a elípticas que responden perfectamente a las geometrías identificadas y constatadas a través de la teledetección. El restante de las lagunas presentes, con valores de Índice de Desarrollo de Costa mayores a los 2,51, son cuerpos de agua con una morfometría muy irregular, y donde se destacan aquellas de gran tamaño areal, correspondientes a una forma subrectangular alargada (Laguna La Amarga  $DI=3,39$ ).



**Figura 5.25:** Histograma.

**El Índice de Desarrollo de Costa en las unidades geomorfológicas del sur de la Provincia de Córdoba**

Para el estudio de las lagunas del sur de Córdoba en función del parámetro morfométrico denominado Índice de Desarrollo de Costa, se procedió, como en los casos anteriores, a dividir la planicie eólica arenosa del sur en las 3 unidades geomorfológicas que Jarsun *et al.* (2006) reconoce para el estudio de suelos de la provincia (Fig. 5.26).



**Figura 5.26:** El índice de Desarrollo de Costa en las Unidades Geomorfológicas del Sur.

***Pampa Medanosa***

Dentro de esta unidad geomorfológica la media del DI es igual a 2,09. Sus valores máximos y mínimos corresponden a 3,94 y 1,56 respectivamente. Posee una mediana de 1,99 y la desviación estándar es de 0,43 (Tabla 5.22).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
DI	30	2,09	0,43	1,56	3,94	1,99

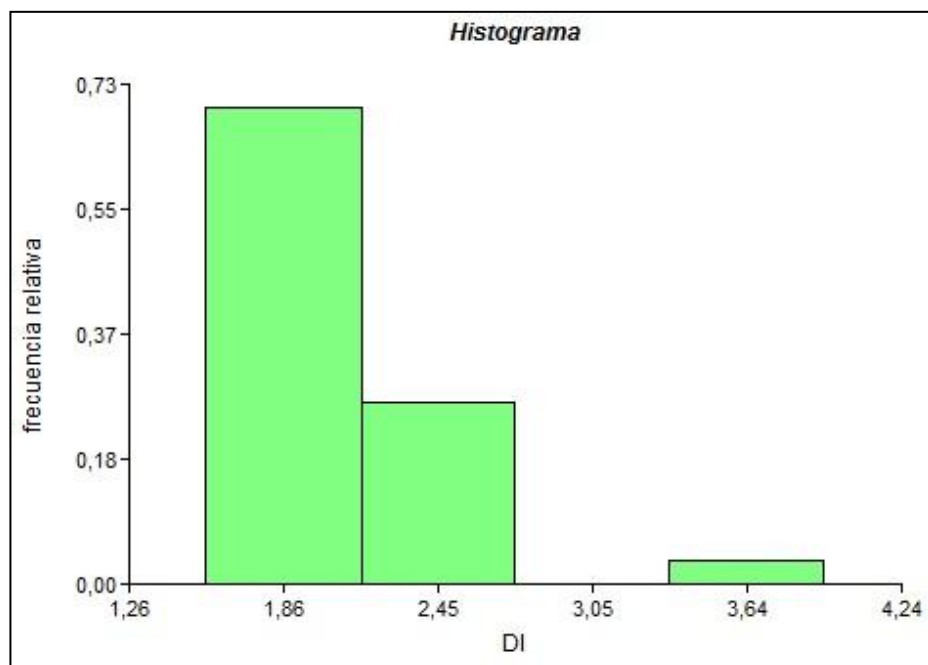
**Tabla 5.22:** Valores estadísticos.

*-Distribución de frecuencias del Índice de desarrollo de costa*

El resultado en la distribución de las frecuencias permite establecer claramente que 21 lagunas inmersas en esta unidad geomorfológica poseen valores mayores a 1,56 y menores a 2,15. Las 9 lagunas restantes presentan valores del índice de desarrollo de costa por encima de este último valor con una máxima igual a 3,94 (Tabla 5.23).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Dl	1	[ 1,56 2,15 ]		1,86	21	0,70
Dl	2	( 2,15 2,75 ]		2,45	8	0,27
Dl	3	( 2,75 3,34 ]		3,05	0	0,00
Dl	4	( 3,34 3,94 ]		3,64	1	0,03

**Tabla 5.23:** Tabla de frecuencias.



**Figura 5.27:** Histograma.

El análisis de frecuencias y el histograma resultante (Fig. 5,27) permiten establecer que en su mayoría las lagunas poseen valores de DI que se ajustan a las formas predominantemente elípticas. Los valores de DI mayores corresponden a lagunas de formas muy elongadas y de elevada irregularidad.



**-Pampa Medanosa Anegable**

Las lagunas aquí presentes poseen una media del Índice de Desarrollo de Costa igual a 2,52. La desviación estándar es de 0,75. Poseen un valor mínimo de 1,50 y un máximo de 5,30. La mediana es de 2,40 (Tabla 5.24).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
D1	73	2,52	0,75	1,50	5,30	2,40

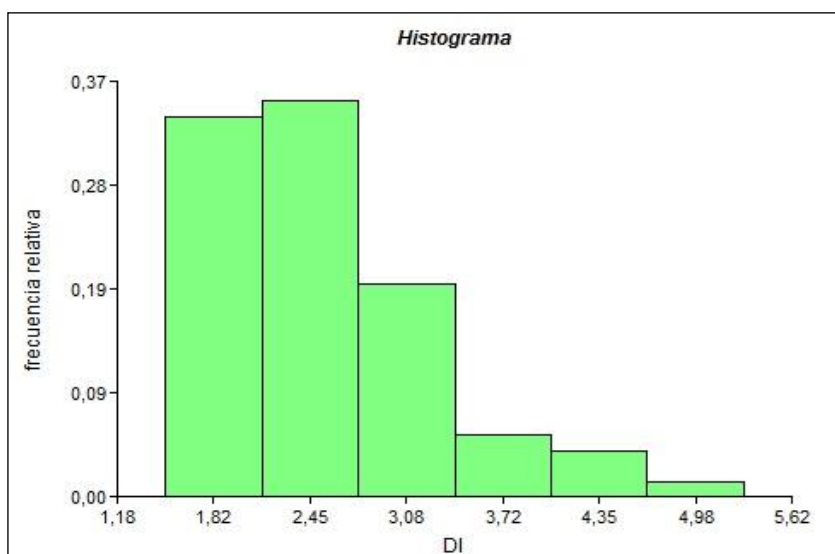
**Tabla 5.24:** Valores estadísticos.**-Distribución de frecuencias del Índice de desarrollo de costa**

El 34% de las lagunas presentes en esta unidad poseen valores del Índice de Desarrollo de Costa mayores a 1,50 y menores a 2,13. Un 36% se distribuye en un rango de 2,13 a 2,77 y el porcentaje restante se agrupa en valores mayores con una máxima de 4,98 (Tabla 5.25). Es importante recalcar, la presencia heterogénea de formas en esta unidad.

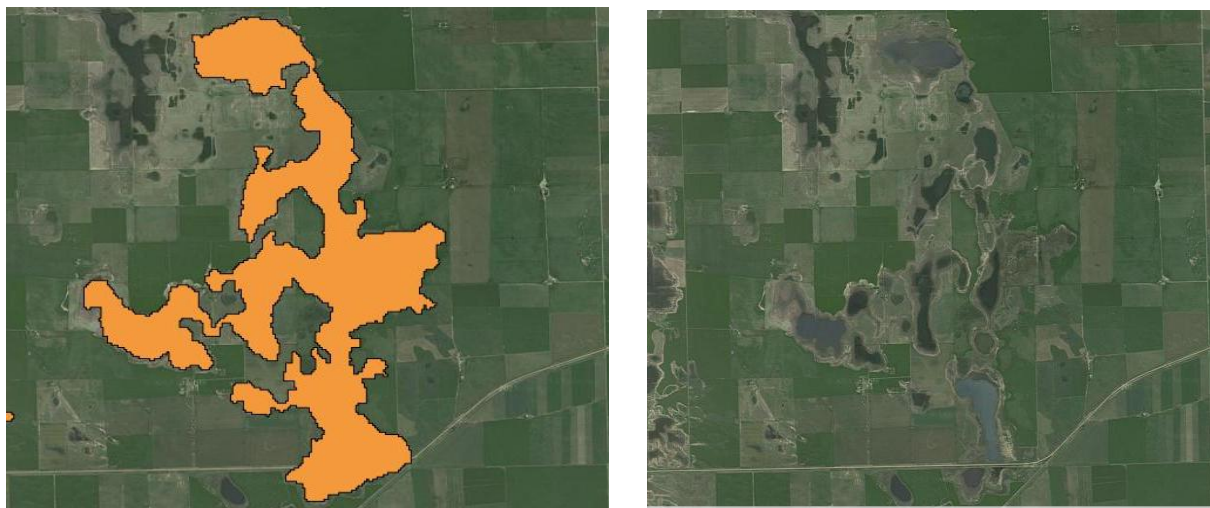
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
D1	1	[ 1,50 2,13 ]	1,82	25	0,34	
D1	2	( 2,13 2,77 ]	2,45	26	0,36	
D1	3	( 2,77 3,40 ]	3,08	14	0,19	
D1	4	( 3,40 4,03 ]	3,72	4	0,05	
D1	5	( 4,03 4,67 ]	4,35	3	0,04	
D1	6	( 4,67 5,30 ]	4,98	1	0,01	

**Tabla 5.25:** Distribución de frecuencias de Perímetro.

El histograma demuestra una distribución heterogénea de formas, que demuestra la diversidad de las lagunas presente según sean éstas subcirculares, elípticas o muy irregulares (Fig. 5.28).

**Figura 5.28:** Histograma.

Los resultados permiten establecer que el 34% de las lagunas corresponden a formas muy elípticas. El resto pertenecen a lagunas elongadas con elevada irregularidad de sus líneas de costa. Ejemplo de ello demuestra ser la laguna cuyo máximo de Índice de Desarrollo es igual a 5,30, que como se observa en la figura, posee una línea de costa dendrítica, muy irregular (Fig. 5.29).



**Figura 5.29:** Laguna del Sur de Córdoba con valor de DI >3, donde se observa su gran irregularidad en la línea de costa.

### **-Pampa Arenosa**

La Pampa Arenosa presenta un Índice de Desarrollo de Costa cuya media es igual a 2,12. La desviación estándar es de 0,57. Posee una mediana de 1,96 y los valores mínimos y máximos corresponden a 1,40 y 3,64 respectivamente (Tabla 5.26).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
DI	42	2,12	0,57	1,40	3,64	1,96

**Tabla 5.26:** Valores Estadísticos.

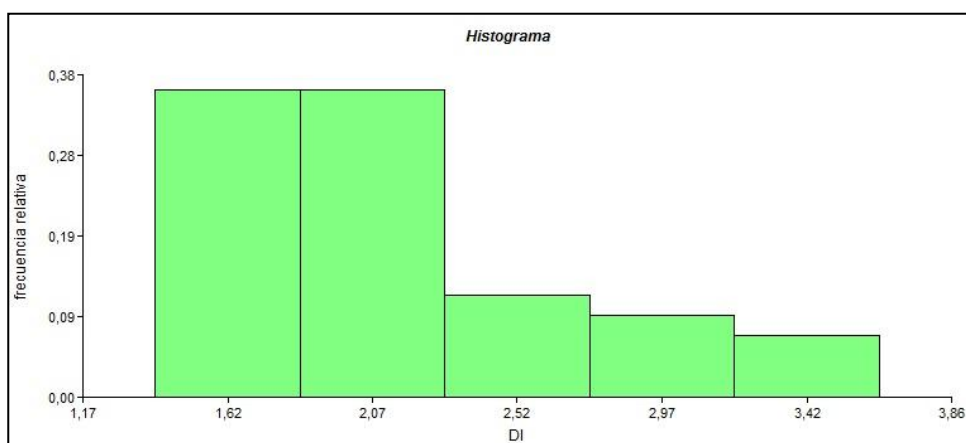
### *Distribución de las frecuencias del Índice de desarrollo de costa*

Un 36% de las lagunas inmersas en esta unidad presentan valores del índice de desarrollo de costa que van desde los 1,40 a los 1,84 (Tabla 5.27). Otro 36% de los cuerpos lacustres poseen valores que recaen dentro del rango que abarca desde los 1,84 a los 2,29. El resto de las lagunas se distribuyen en valores de índice de desarrollo de costa mayores a los 2,29 con una máxima de 3,64.

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
DI	1	[ 1,40 1,84 ]	1,62	15	0,36	
DI	2	( 1,84 2,29 ]	2,07	15	0,36	
DI	3	( 2,29 2,74 ]	2,52	5	0,12	
DI	4	( 2,74 3,19 ]	2,97	4	0,10	
DI	5	( 3,19 3,64 ]	3,42	3	0,07	

**Tabla 5.27:** Distribución de frecuencias.

El histograma (Fig. 5.30), demuestra claramente la distribución de las 5 clases donde se observa un gran predominio de los valores de Índice de desarrollo de Costa menores a los 2,29. En función de estos resultados se puede establecer que un 36% de las lagunas poseen formas que abarcan desde las subcirculares a elípticas (Fig. 5.31). Otro 36% desarrolla formas elípticas elongadas y el restante de las lagunas poseen formas dendríticas con una irregularidad marcada en su línea de costa.



**Figura 5.30:** Histograma.



**Figura 5.31:** Laguna en la unidad geomorfológica Pampa Arenosa con una forma elíptica y costa irregular.

Al norte, esta unidad vuelve a hacerse presente con un valor medio del Índice de desarrollo de Costa igual a 2,06 (Tabla 5.28).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
D1	1	[ 1,52	2,00 ]	1,76	12	0,57
D1	2	( 2,00	2,49 ]	2,24	6	0,29
D1	3	( 2,49	2,97 ]	2,73	1	0,05
D1	4	( 2,97	3,46 ]	3,21	2	0,10

**Tabla 5.28:** Distribución de frecuencias.

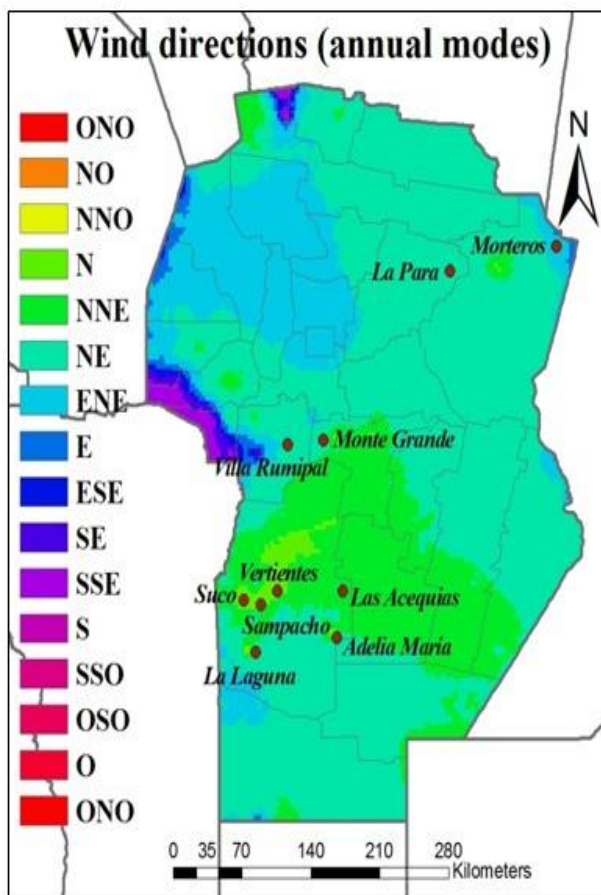
## VI. SEXTO BLOQUE

### ANÁLISIS DE VIENTOS Y SU RELACIÓN CON LA GEOMORFOMETRÍA LAGUNAR

El viento es el principal responsable de la generación de campos de dunas y cubetas de deflación. Como se explicó en el bloque referido a la geomorfología, los procesos eólicos de erosión, transporte y depositación son los encargados de crear la geomorfología típica desarrollada en el “Mar de Arena Pampeano”.

Un análisis de la distribución y densidad de las lagunas en relación a los estudios de velocidad y dirección del viento actual, permitirá establecer el grado de conexión existente entre la acción eólica presente y la morfometría lagunar.

Según Sigal *et al.* (2013), la dirección de los vientos en la provincia de Córdoba tiene una



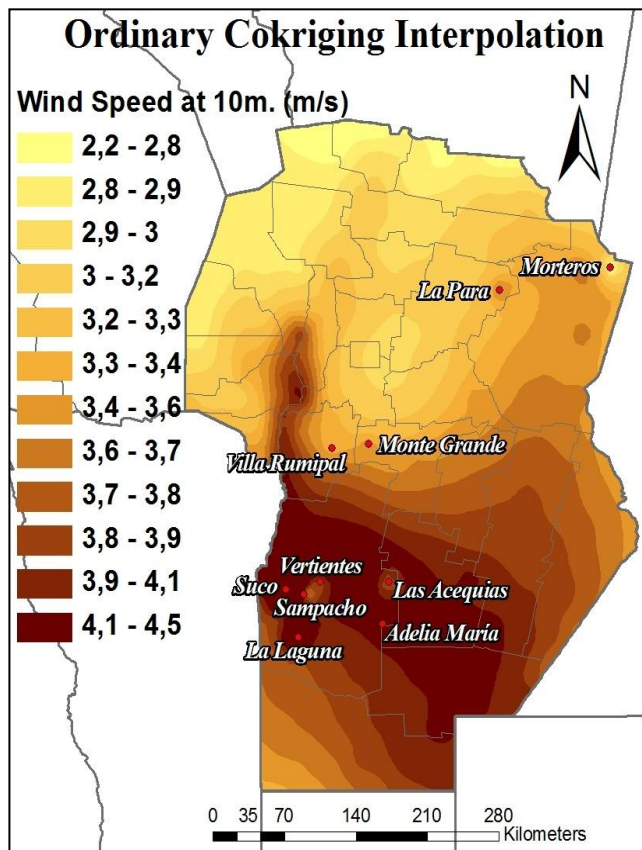
**Figura 6.1:** Mapa de la provincia de Córdoba con la predominancia de vientos, Sigal *et al.* (2013).

predominancia noreste en concordancia con la existencia de un corredor de viento con características homogéneas (Fig. 6.1). Sus estudios, basados en las modas anuales observadas en las rosas de los vientos y en base a los datos de las estaciones de medición, permiten relacionar los resultados así obtenidos con las morfologías y parámetros morfométricos de las lagunas en cuestión.

El Índice de Desarrollo de Costa, como se explicó anteriormente, es un valor que relaciona la longitud de la costa o perímetro, con la circunferencia de un círculo que tenga la misma superficie de la laguna. El análisis de la orientación del eje mayor de las lagunas con un DI mayor a 1,25 con respecto a la dirección del viento permitirá conocer como la acción del factor eólico influye en las dimensiones y geoformas lagunar.



El análisis de la velocidad del viento y su relación con los parámetros morfométricos, es otra cuestión por analizar. Según Sigal *et al.* (2013) las zonas de vientos más fuertes se ubican al sur y centro-oeste de la provincia (Fig. 6.2).



**Figura 6.2:** Mapa de velocidad de vientos para la provincia de Córdoba, Sigal *et al.* (2013).

Analizar el número de lagunas y la coincidencia de las mismas con los sectores de mayor velocidad es útil para determinar el grado de influencia de las condiciones eólicas presentes, con las dimensiones y parámetros morfométricos de las lagunas, y para poder establecer, a través de una primera aproximación, los patrones de orientación principales que estos cuerpos acuáticos poseen, para diferenciar, por un lado, los humedales que poseen una influencia netamente eólica, de aquellos que persiguen una morfología fluvio-eólica o estructural.

Las mayores velocidades de viento en la provincia de Córdoba y las provincias vecinas de Buenos Aires, Santa Fe y La Pampa, según el análisis de Sigal *et al.* (2013) y la base mundial de vientos son mayores a los 4m/s (a

10 m de altura) y, para la provincia de Córdoba, estas mayores velocidades se hallan presente en el sur y centro-oeste de la misma, abarcando los departamentos de Río Cuarto, Juárez Celman y Presidente Roque Sáenz Peña.

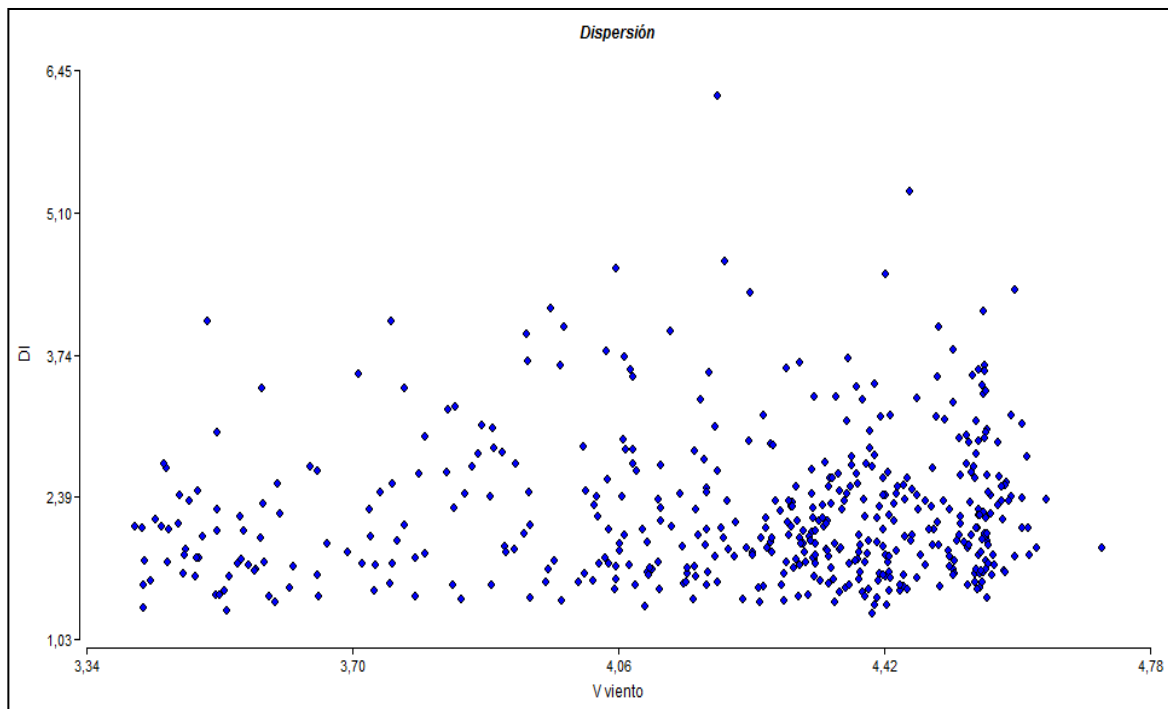
Por otro lado, los índices de desarrollo de costa (DI), cuanto más alejados se encuentren a la unidad, son indicadores de morfologías elípticas, donde se identifica un eje mayor representando la longitud máxima de la laguna y un eje menor. La dirección de ese eje mayor puede ser relacionada con la dirección actual de los vientos y con la velocidad de los mismos para determinar así, el grado de influencia de la acción eólica en estos cuerpos de agua.

En base a los estudios de Sigal *et al.* (2013) y a la base de datos mundial de velocidades de viento, para el sector del “Mar de Arena Pampeano”, la dispersión demuestra que el mayor número de lagunas se desarrollan donde los vientos poseen mayor intensidad. Es decir, el mayor número de

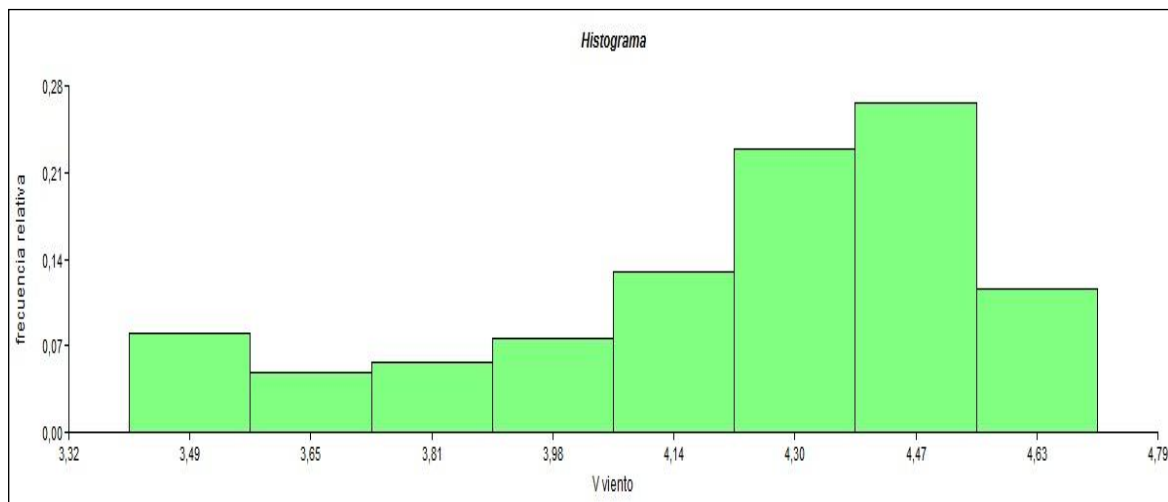


lagunas en el sur de la provincia de Córdoba y en las provincias vecinas, se agrupan en estos sectores, donde las velocidades del viento son superiores.

Este aumento en la densidad de las mismas se empieza a desarrollar a partir de velocidades de 4,20 m/s (Figs. 6.3 y 6.4).



**Figura 6.3:** Dispersión y DI de las lagunas en función de la velocidad del viento (m/s).



**Figura 6.4:** Histograma.

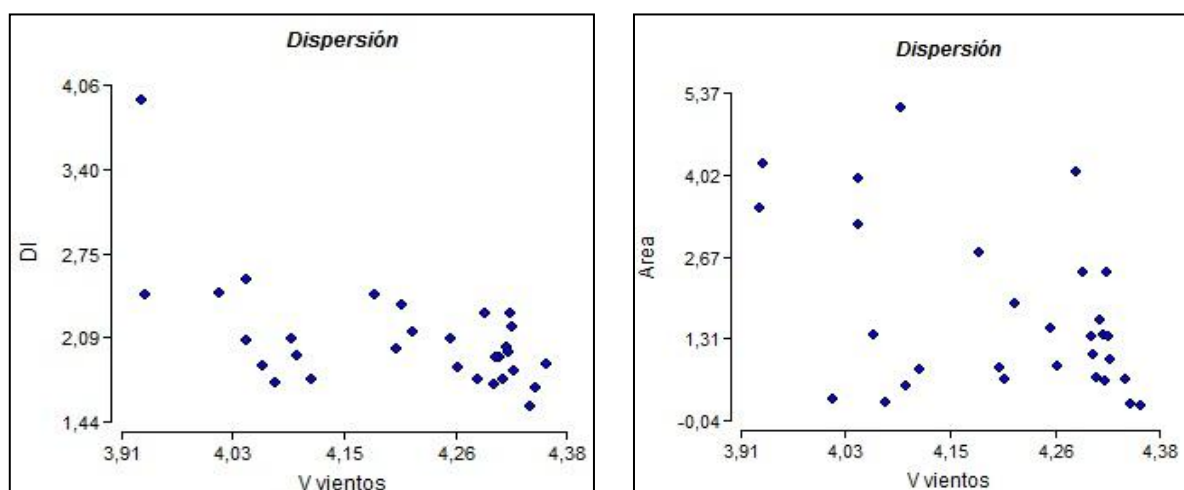
### La influencia del viento en las lagunas de las unidades geomorfológicas del sur de Córdoba

En el sur de la provincia de Córdoba, las lagunas desarrollan, donde la velocidad del viento se incrementa, una morfometría un poco alejada a la circular. Los cuerpos de agua poseen valores de Índice de Desarrollo de Costa no cercanos a la unidad con una predominancia típica de formas elípticas con su eje mayor orientado. Esta orientación puede obedecer a las características eólicas de la zona, pero en otros, la dirección del eje mayor está configurado según la naturaleza genética de la laguna, sea ésta producto de una depresión ubicada en un paleocauce, con una influencia netamente fluvial. Es decir, los patrones de orientación lagunar diferenciados estarán así dispuestos según la génesis lagunar ya sea que las mismas se encuentren ligadas a cubetas de deflación eólica o a depresiones ubicadas en paleocauces fluviales controladas por estructuras que afectan al abanico del río Popopis respectivamente.

Además, los mayores índices de desarrollo de costa se dan, donde la intensidad del viento es mayor, demostrando la influencia neta actual del viento en la evolución del paisaje y en el desarrollo de una morfología particular.

#### *Pampa Medanosa*

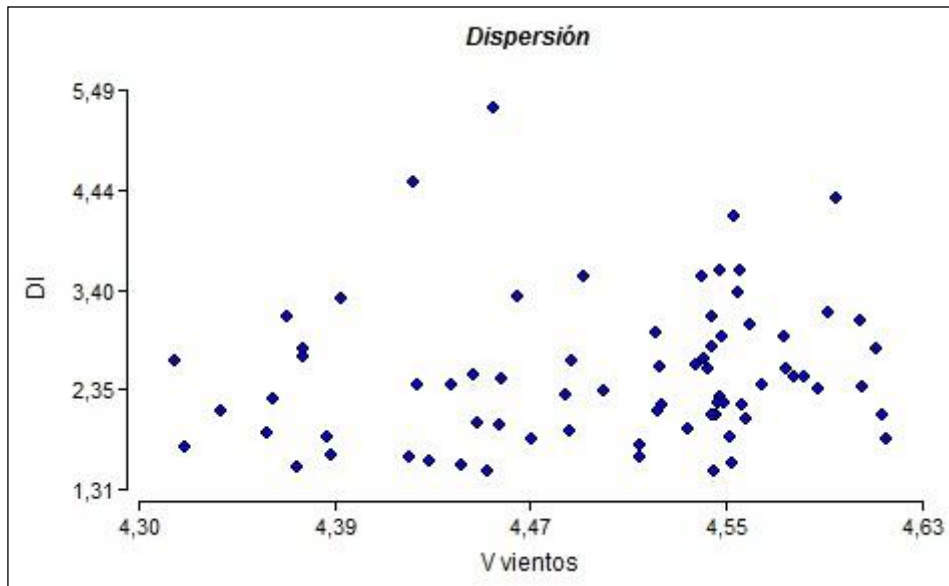
En la unidad geomorfológica Pampa Medanosa, los valores de velocidad de vientos, poseen una media de 4,21 m/s (los más bajos valores de Velocidad). A partir de los 4,26 m/s se reconoce un mayor número de cuerpos de agua, pero el DI se mantiene siempre por debajo de los 2,75. Además, las áreas se mantienen en valores que no superan los 2 km<sup>2</sup>, con algunas excepciones (Fig. 6.5).



**Figura 6.5:** Dispersión de valores de DI y área en lagunas función de la velocidad del viento (m/s).

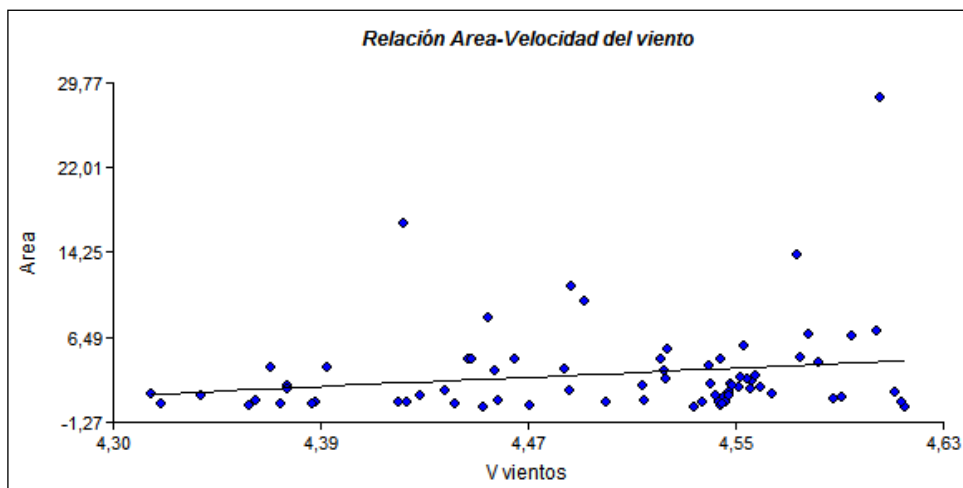
***Pampa arenosa anegable***

En la unidad geomorfológica Pampa Arenosa Anegable, las mayores velocidades de vientos pertenecen a valores de hasta 4,61 m/s. A partir de los 4,50 m/s el número de lagunas presentes es mayor, con índices de desarrollo de costa elevados, mayores a los 2,35 (Fig. 6.6).



**Figura 6.6:** Dispersión de lagunas y valores de DI según la velocidad del viento (m/s).

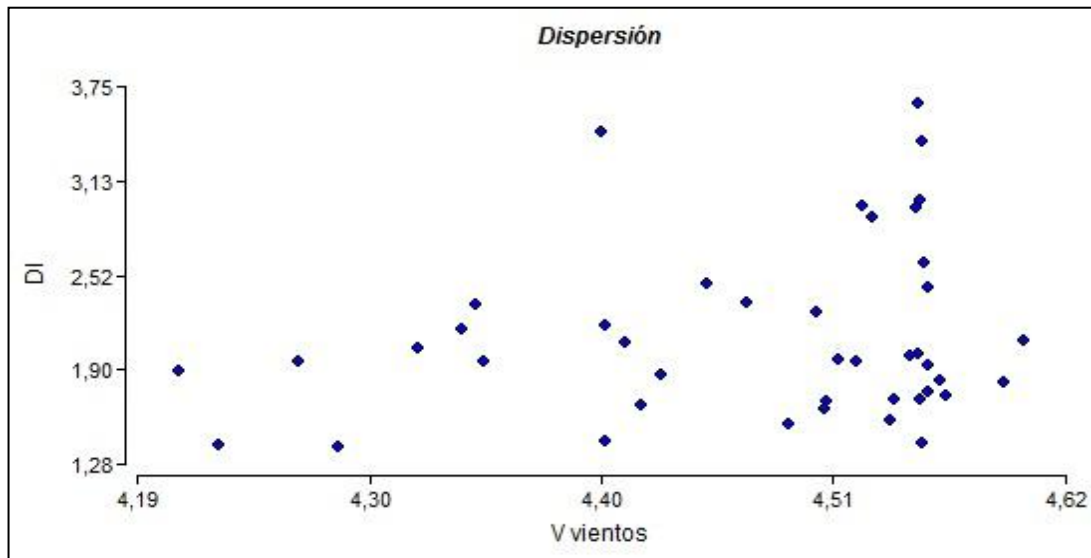
Además, la relación del área con la velocidad del viento tiene una leve relación lineal, aumentando el valor área de las mismas según aumenta la velocidad del viento y con un gran número de lagunas influenciadas por una velocidad cercana a los 4,55 m/s<sup>2</sup> (Fig. 6.7).



**Figura 6.7:** Relación del área de las lagunas con la velocidad del viento (m/s).

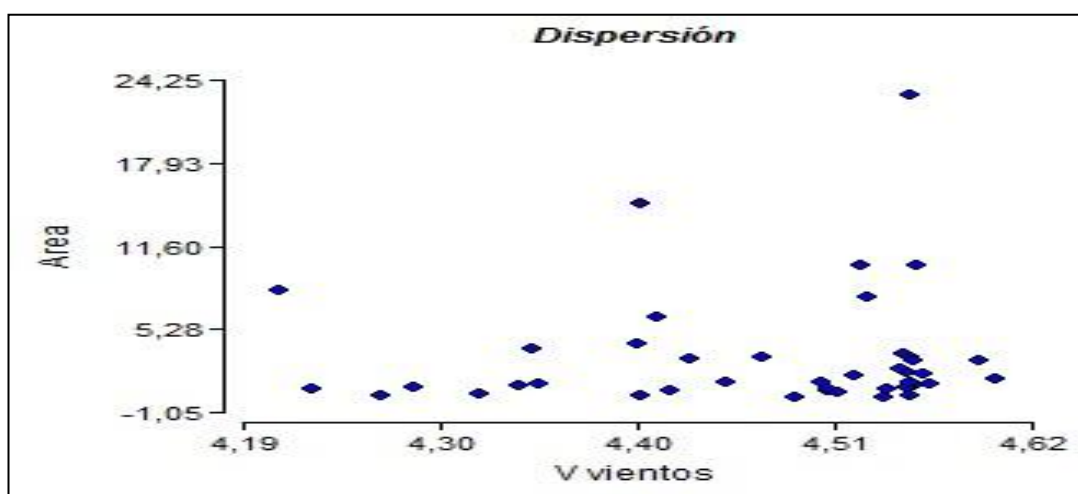
### ***Pampa Arenosa***

En la Pampa Arenosa, al igual que en la Pampa Arenosa Anegable, la velocidad del viento manifiesta elevados valores. A partir de los 4,51 m/s las lagunas aumentan tanto en el número así como también en su cambio de forma, presentándose DI mayores a 3, desarrollando verdaderas formas elongadas e irregulares (Fig. 6.8).



**Figura 6.8:** Relación de DI de lagunas de la Pampa Arenosa en función de Velocidad de vientos (m/s).

El área de las lagunas comienza a aumentar a medida que lo hace la velocidad del viento (Fig. 6.9), y si bien los tamaños desarrollados a mayores velocidades no son muy elevados, existen casos excepcionales donde este parámetro desarrolla grandes valores de superficie como por ejemplo, la laguna La Amarga.



**Figura 6.9:** Relación del área de las lagunas con respecto a la velocidad del viento (m/s).

Es decir que, la actividad eólica actual posee una influencia que se manifiesta de diversos modos: las zonas con mayores velocidades de vientos coinciden con la presencia de un número mayor de lagunas. Además, tanto en la Pampa Arenosa Anegable como en la Pampa Arenosa, los valores de mayor velocidad coinciden con un mayor desarrollo de área. La unidad que posee menor influencia es la Pampa Medanosa, donde las lagunas no poseen una relación de desarrollo de área y de índice de desarrollo de costa respecto a la dirección e intensidad eólica demostrando así, la poca influencia que poseen los vientos actuales de baja velocidad en esta unidad.



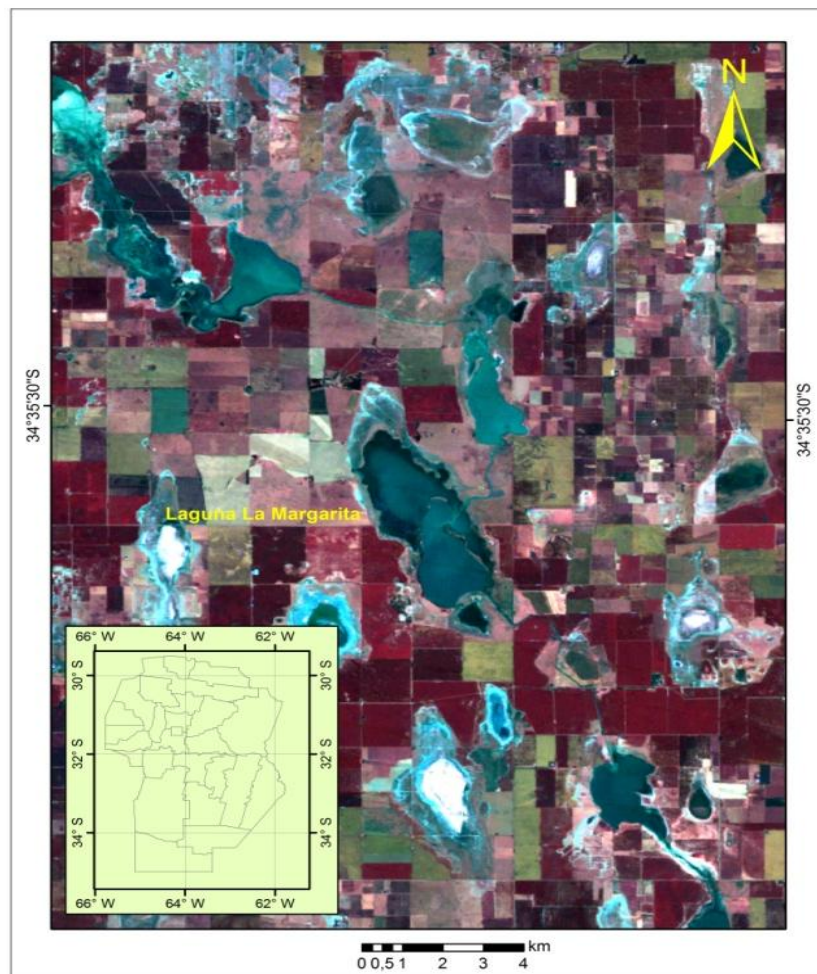
## VII.SÉPTIMO BLOQUE

### ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA LAGUNA LA MARGARITA

Para realizar un análisis morfométrico de mayor detalle se seleccionó la laguna La Margarita. Se optó por este cuerpo lacustre teniendo en consideración sus características geomorfológicas y de génesis ya que es un tipo de laguna que conforma parte de un paleocauce del río Quinto, afectado posteriormente por remodelación eólica y ligada a un lineamiento tectónico.

#### Ubicación

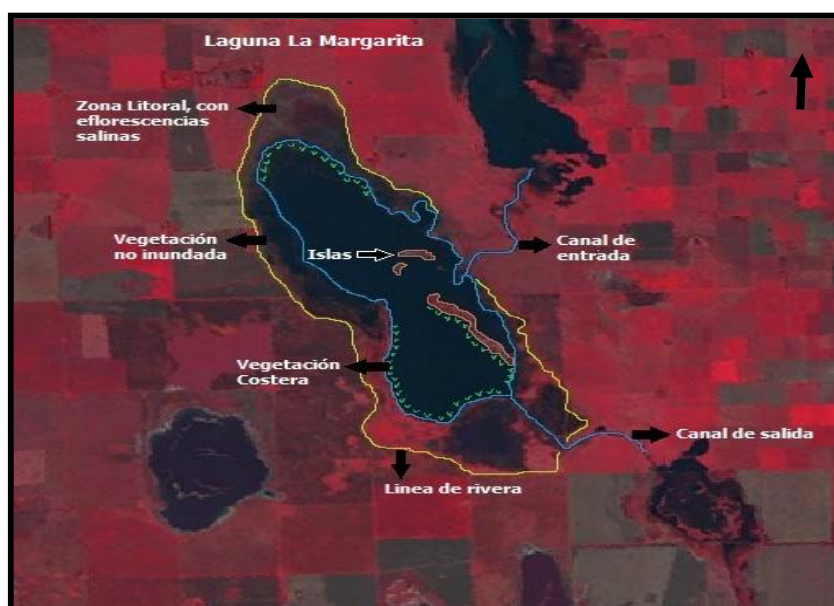
La laguna La Margarita se ubica en el sur de Córdoba (34° 38'48,19" S-63° 43'59,16" O) a 32 km al SE de la localidad de Jovita (Fig. 7.1). Esta laguna está caracterizada por poseer una influencia neta del río Quinto o Popopis, por su escasa profundidad y costa irregular. Se encuentra ubicada dentro de la unidad geomorfológica denominada Pampa Arenosa Anegable.



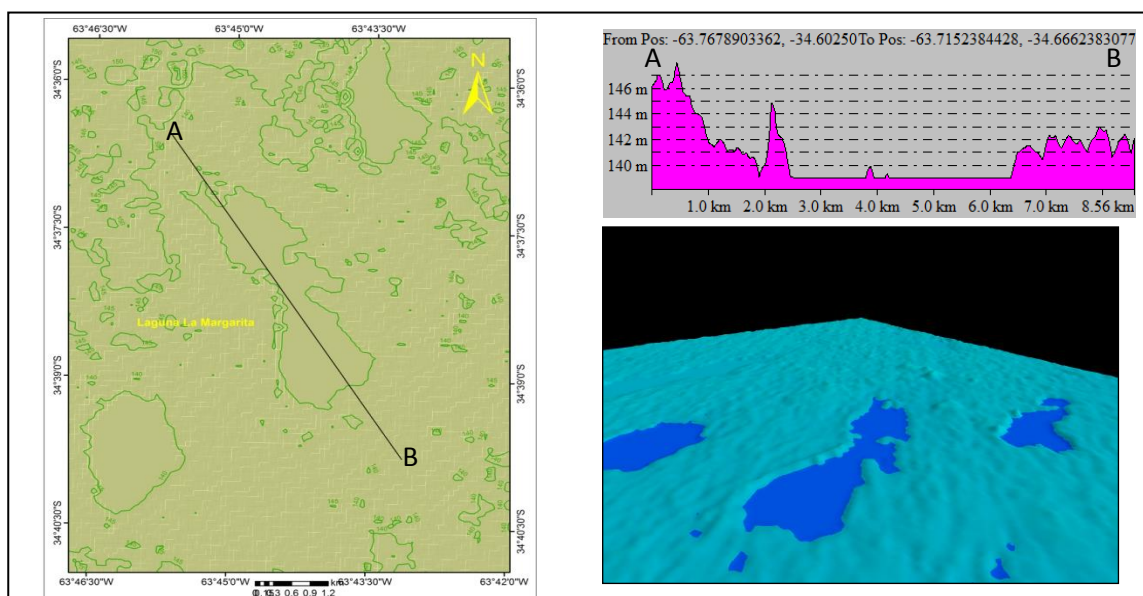
**Figura 7.1:** Ubicación Geográfica Laguna La Margarita. Imagen Satelital procesada, bandas RGB 5-3-1.

## Geomorfología de la laguna La Margarita

La laguna La Margarita, se encuentra alimentada por canales, influenciada por el río Quinto y es constituyente de un sistema de lagunas en rosario (Fig. 7.2). Su tamaño varía en función de las épocas de crecida, del sistema de apertura de compuertas en embalses reguladores y en función de las precipitaciones y escorrentía superficial local y subterránea. Su mayor época de oleaje corresponde al mes de agosto. Sus bordes son abarrancados y con abundante vegetación. Presenta una barranca noroccidental más abrupta y de mayor elevación que la suroriental (Fig.7.3). No estratifica térmicamente excepto por períodos cortos de tiempo. Es una laguna con sentido de orientación SE-NO.



**Figura 7.2:** Laguna La Margarita - elementos del paisaje.



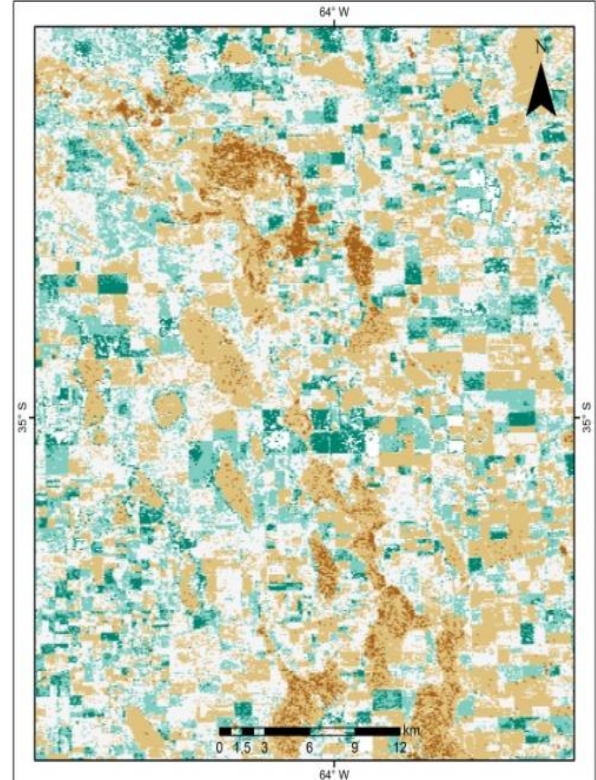
**Figura 7.3:** Perfil Laguna La Margarita y vista 3 D.



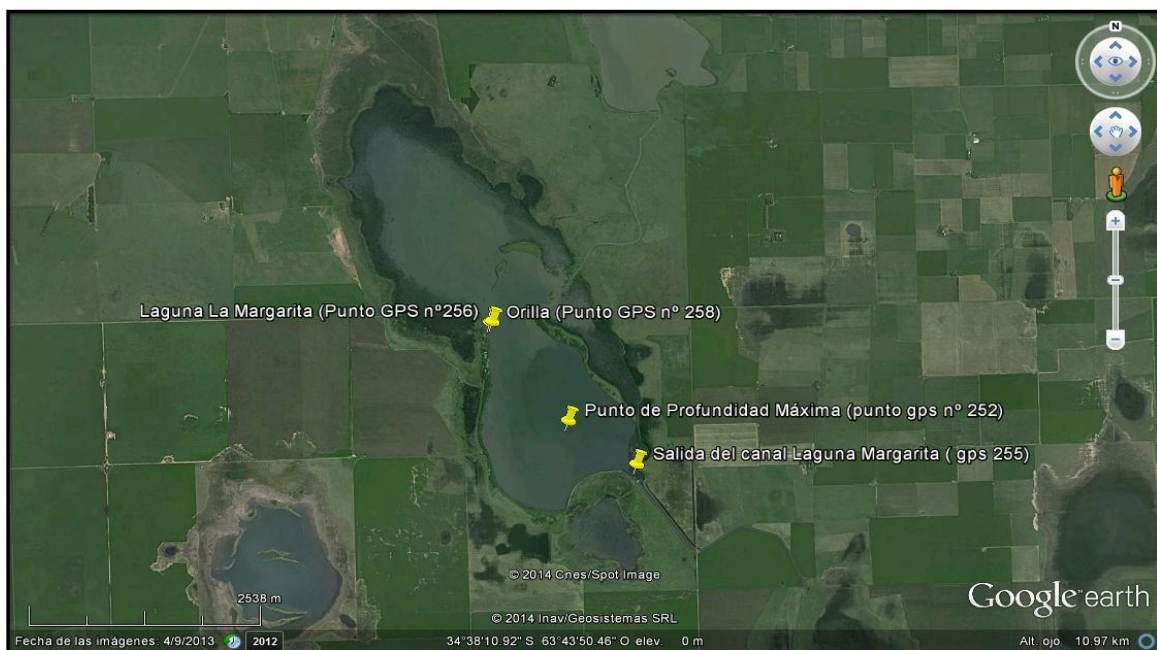
La profundidad máxima medida en campo con una varilla graduada (Fig. 7.4 y Fig. 7.5b) arrojó un resultado de 3 m, el cual fue constatado con los valores reflejados en la batimetría realizada por Degioanni et al. (2002) en la laguna (Fig. 7.7) y con los valores arrojados por la utilización del método de Pseudocoloreado (Brenner, 1997) para diferenciar profundidades en los cuerpos de agua.



**Figura 7.4:** Tomas puntuales de profundidad con varilla de 3,5 m.



**Figura 7.5a:** Método de Pseudocoloreado para estimación de profundidad. Los colores marrones oscuros indican mayores profundidades.

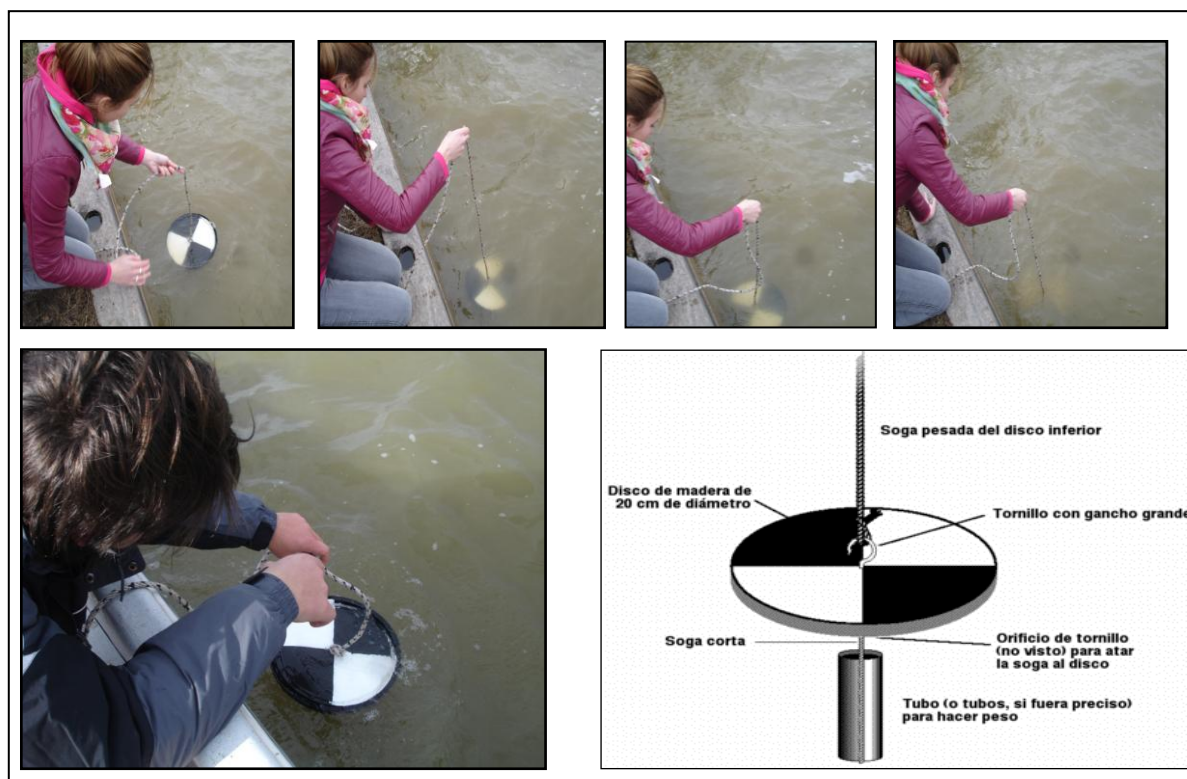


**Figura 7.5b:** Laguna La Margarita, imagen Google Earth, con puntos de toma de profundidad.

Los colores marrones de la imagen de pseudocoloreado (Fig. 7.5 a), indican las mayores profundidades para lagunas ubicadas en la pampa arenosa anegable, donde se incluye La Margarita. Estas lagunas en rosario poseen valores de profundidad cercanos a 3 o más.

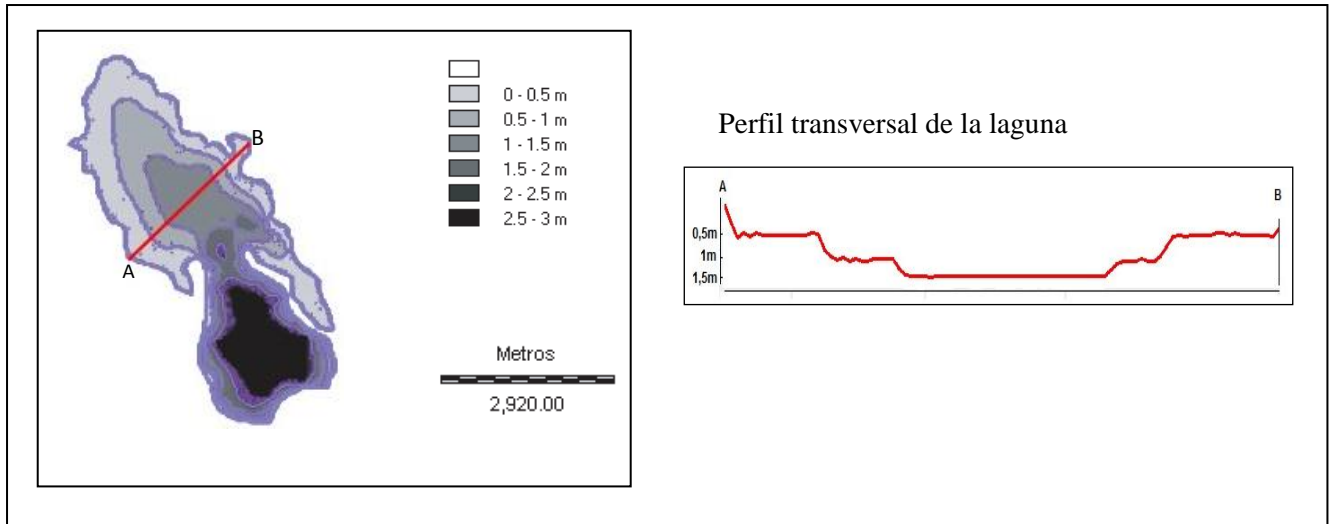
Esta laguna junto con la laguna San Pedro, Nelson, La Legua, entre otras, forman parte de un sistema de lagunas encadenadas, interconectadas, ocupantes de paleocanales del río Quinto o Popopis, afectados por diferentes ciclos de deflación. Presentan un alto dinamismo y es una vía de transporte y circulación de agua, sedimentos y sales hacia las provincias vecinas (La Pampa y Buenos Aires).

Si bien la turbidez medida con el disco de Secchi (Fig. 7.6), arrojó valores altos (el disco dejó de ser visible a un promedio de 22,4 cm), esto no impide en absoluto la proliferación de peces e ictiofauna, convirtiéndose en una laguna utilizada principalmente como recurso recreativo. Es una laguna de baja transparencia (gran cantidad de sedimentos en suspensión), hipertrófica (debido a su elevada turbidez producto de la introducción de nutrientes consecuencia de las actividades agrícolas circundantes) con alta abundancia de peces planctívoros. Los resultados apoyan que el estado actual de laguna “turbia” y con comunidades de peces dominadas por planctívoros, es producto del accionar de los humanos y altamente dependiente de la intensidad de uso de la tierra en sus drenajes (Quirós et al. 2002).

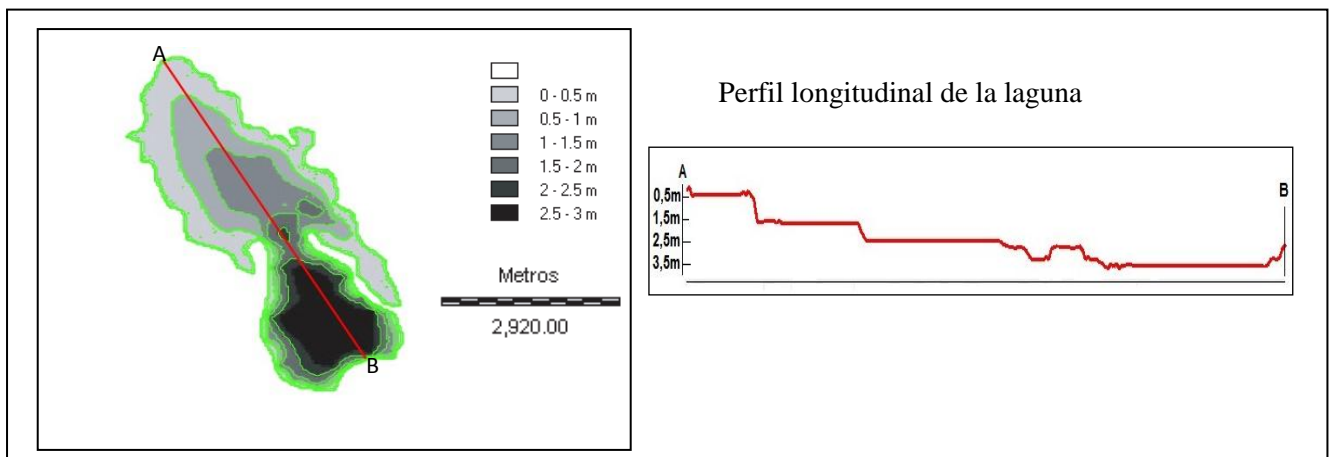


**Figura 7.6:** Medidas de turbidez con un Disco de Secchi en la laguna La Margarita.

Para la traza de perfiles en la laguna, se utilizó la batimetría propuesta por Degioanni *et al.* (2002). El perfil transversal del fondo de la laguna muestra una laguna simétrica con pendientes escalonadas (Fig. 7.7). El perfil longitudinal demuestra las mayores profundidades hacia el SE del cuerpo lacustre y una morfología asimétrica con pendientes escalonadas hacia el NO (Fig. 7.8).



**Figura 7.7:** Batimetría de la laguna La Margarita según Degioanni *et al.* (2002) y perfil A-B transversal de la laguna.



**Figura 7.8:** Batimetría de la laguna La Margarita según Degioanni *et al.* (2002) y perfil A-B longitudinal de la laguna.

### Caracterización Geomorfométrica

La morfometría de la laguna La Margarita obedece a su origen, historia y características geológicas. El mapa batimétrico propuesto por Degioanni *et al.* (2002) y las medidas puntuales de profundidad tomadas en campo muestran que es un cuerpo de agua somero con valores de profundidad entre 0,5 m y 3 m. Las máximas profundidades se evidencian al SE de la cubeta. Este valor es coincidente y típico de lagunas pampeanas en las cuales la profundidad no excede los 4 m (Ringuelet, 1972).



Posee una profundidad máxima de 3 m, un área de 4,55 km<sup>2</sup> y un perímetro de 21 km. Su largo y ancho máximo es de 4,9 km y 1,68 km respectivamente con un índice de desarrollo de costa de 2,77 muy alejado a la unidad. Sus parámetros morfométricos permiten establecer que se trata de un cuerpo de agua de grandes dimensiones, de forma elíptica, elongado y con un volumen importante de 13,65 hm<sup>3</sup> (Tabla 7.1).

AREA	4,55 km <sup>2</sup>
PERIMETRO	21 km
INDICE DE DESARROLLO DE COSTA	2,77
PROFUNDIDAD	3m
PROFUNDIDAD MEDIA DE LA LAGUNA (V/A)	3m
PROFUNDIDAD RELATIVA	0,16
COCIENTE ENTRE LAS PROFUNDIDADES MEDIA Y MAXIMA DE LA LAGUNA	1
LARGO MAXIMO	4,9 km
ANCHO MAXIMO	1.68 km
ANCHO MEDIO	0,92 km
VOLUMEN	13,65 hm <sup>3</sup>
L/W RELACIÓN ENTRE LA LONGITUD MAXIMA Y EL ANCHO MEDIO DE LA LAGUNA	5,32

**Tabla 7.1:** Parámetros morfométricos de la laguna La Margarita.

La profundidad relativa ( $Z_r$ ), que mide la relación del área de la laguna, por donde entra la energía desde el exterior, con la profundidad, a través de la cual se disipa la energía, posee un valor de 0,16.  $Z_r$  se define como la profundidad máxima dividida por el diámetro medio del lago (Hutchinson, 1957). Dado que la capacidad del viento para provocar la mezcla varía en función de estos parámetros,  $Z_r$  es considerada un indicador de la estabilidad de la columna de agua. Wetzel (1983) señala que la mayoría de los lagos tienen una profundidad relativa de menos del 2%, mientras que los profundos y de superficie pequeña exhiben una mayor estabilidad y tienen generalmente valores de  $Z_r$  de más de 4%. El valor arrojado por la laguna La Margarita, es igual a 0,16 lo que indicaría que los factores externos tienen una influencia intermedia sobre la estabilidad de la columna de agua.

El valor de **Relación Dinámica** (Dynamic Ratio, Dan Lindgren y Håkanson, 2011) es un parámetro que describe las condiciones de profundidad:

$DR = ((A)/z)^{0.5}$  donde A es el área en  $\text{km}^2$  y z es la profundidad media en m. Se reconocen 4 clases diferentes.

Class	DR	Description
1 Very deep	$< 0.064$	Areas dominated by slope processes and erosion and transport processes for fine particles
2 Deep	$0.064 - 0.25$	Areas influenced by slope processes were erosion, transport and accumulations for fine particles occur
3 Intermediate	$0.25 - 4.1$	Areas more influenced by wind and wave processes were erosion, transport and accumulations for fine particles occur
4 Shallow	$> 4.1$	Area dominated by wind and wave processes and erosion and transport processes for fine particles

**Tabla 7.2:** Clases para la Relación Dinámica Dan Lindgren y Håkanson, (2011).

Para la laguna La Margarita, este valor es igual a 1,23 por lo que recae dentro de la clase 3, denominada Relación Dinámica Intermedia (Tabla 7.2), donde las áreas son influenciadas por procesos de oleaje y erosión, hay transporte y acumulación de partículas finas.

El **Desarrollo de Volumen** o **Factor de forma** (Dan Lindgren y Håkanson, 2011) es otro importante parámetro que mida la forma de cualquier sistema acuático.

$Vd = 3 \cdot z/Z$  (2) donde z es la profundidad media y Z es la profundidad máxima.

Este valor para la laguna La Margarita es igual a 3 por lo que recae en el campo de clasificación de **forma Cóncava** (Tabla 7.3).

Form of Lake or Coastal Area	Class Name	Vd
Very convex	VCx	$0.05 - 0.33$
Convex	Cx	$0.33 - 0.67$
Slightly convex	SCx	$0.67 - 1.00$
Linear	L	$1.00 - 1.33$
Concave	C	$> 1.33$

**Tabla 7.3:** Clasificación Morfométrica según el factor de Forma Vd, (Dan Lindgren y Håkanson, 2011).

Los parámetros morfométricos obtenidos y su ubicación dentro de un paleocauce permite diferenciarla de otros cuerpos de agua de la planicie arenosa del sur de la región pampeana los cuales poseen menor profundidad, orientación, área y dimensiones, conformando cuerpos aislados alimentados solo por freática y precipitación ocupantes de cubetas producto del proceso de deflación eólica.

## VIII. OCTAVO BLOQUE

### CUESTIÓN AMBIENTAL

Los humedales del sur de la provincia de Córdoba, han sufrido a lo largo de los últimos años, modificaciones en su naturaleza debido a las acciones antrópicas, canalizaciones, regulación de drenaje y actividades agropecuarias. La alteración de los mismos trae graves consecuencias en la región relacionadas a una mayor eutrofización de los cuerpos de agua, inundaciones, cambios de tamaño y en el número de lagunas presentes entre otras.

Stolk, et al (2006), afirma que los humedales cubren aproximadamente 1.28 millones de hectáreas de la superficie terrestre y que la importancia de estos radica en que son los ecosistemas más productivos existentes, ayudan a la regulación de inundaciones, retienen sedimentos, sustancias tóxicas y nutrientes, poseen una alta biodiversidad, controlan la erosión, almacenan carbono, proveen servicios de transporte y de recreación y son una fuente importante de abastecimiento.

#### **Protección de los Humedales**

##### *-Convención Ramsar*

Respecto a la conservación existe un tratado intergubernamental denominado Convención Ramsar o simplemente Convención sobre los Humedales relativo al uso y protección de los mismos. Es un tratado intergubernamental aprobado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad iraní de Ramsar que entró en vigor en 1975 y en la actualidad más de 150 países de todo el mundo han adherido a la misma (RAMSAR).

Según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, la República Argentina aprueba la Convención sobre los Humedales en el año 1991 a través de la sanción de la Ley 23.919 que entró en vigor en setiembre del año 1992. La Autoridad Administrativa Ramsar de nuestro país es el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales. La Autoridad de Implementación de la Convención de Ramsar a nivel nacional es la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, a través del Grupo de Trabajo de Recursos Acuáticos de la Subsecretaría de Planificación y Política Ambiental.

Entre las tareas a desarrollar se encuentran:

- Designación de Humedales de Importancia Internacional
- Planificación y monitoreo del manejo de los Sitios Ramsar
- Articulación de acciones con otros organismos
- Evaluación y presentación de proyectos sobre conservación de humedales

- Capacitación
- Inventario y diagnóstico de humedales
- Comunicación, educación y concienciación

### **Actividades de impacto ambiental y Contaminantes:**

Las principales acciones perjudiciales que impactan y actúan sobre el Humedal Pampeano son:

- \*Cambios en el tipo e intensidad de uso de la tierra (pastizales convertidos en tierra agrícola y humedales en pasturas);
- \*Erosión y exportación de nutrientes
- \* Drenaje, canalización y represado de cuerpos de agua
- \*Agricultura y ganadería (cría y engorde, pasturas, pasturas implantadas, cultivos anuales, “feedlots”)
- \*Urbanización no regulada y con sistemas de tratamiento cloacal deficientes o inexistentes

### **Consecuencias ambientales**

Así mismo, las Consecuencias ambientales sobre el humedal pampeano que se reconocen son

- \*Cambio en los patrones de drenaje naturales
- \*Cambios en la morfología de los cuerpos de agua
- \* Aumento de la sedimentación inorgánica y orgánica
- \* Aumento de los niveles de materia orgánica poco oxidada (ambientes anóxicos y reductores)
- \*Enriquecimiento en nutrientes de las aguas superficiales y subterráneas (especialmente P y N)
- \*Contaminación de las aguas de superficie
- \*Inundaciones

### **El impacto Agrícola-Ganadero**

Las actividades agropecuarias observadas en la zona traen como consecuencia un mayor nivel de nutrientes, es decir, una elevada eutrofización de las lagunas a través de la introducción de pesticidas agroquímicos y descarga industrial.

Según Aimar *et al.* (2010) la intensificación actual del uso agropecuario está ocasionando mayor flujo de sedimento y agroquímicos, así como concentración de animales, introducción de forrajeras exóticas y regulación hídrica en los humedales. El efecto de esos disturbios podría variar entre humedales con el tipo de cultivo dominante en el entorno (anual, perenne), con la alteración de la cobertura vegetal y aporte de materia orgánica por pastoreo en el humedal, y con factores intrínsecos de cada bajo y laguna (forma, área, profundidad).



## Eutrofización

Es la principal consecuencia del desarrollo de actividades agrícolas en la región. Se entiende por eutrofización como la abundancia anormalmente alta de nutrientes en el sistema cuya principal consecuencia es el aumento de biomasa y un empobrecimiento de la diversidad (Quirós *et al.* (2002).

Las lagunas pampeanas se sitúan en drenajes fértiles que aportan grandes cargas de nutrientes a las mismas. La acción antrópica ha incrementando sustancialmente esas cargas. Según Quirós *et al.* (2002) las lagunas con drenajes más intensamente utilizados generalmente también presentan mayores concentraciones de nutrientes y un pronunciado desbalance del P frente al N. Según este autor, las lagunas “turbias” se dan en las zonas con mayor intensidad de uso de la tierra. Por otra parte, las lagunas “claras” predominan en las zonas de pastizales con menor acción antrópica.

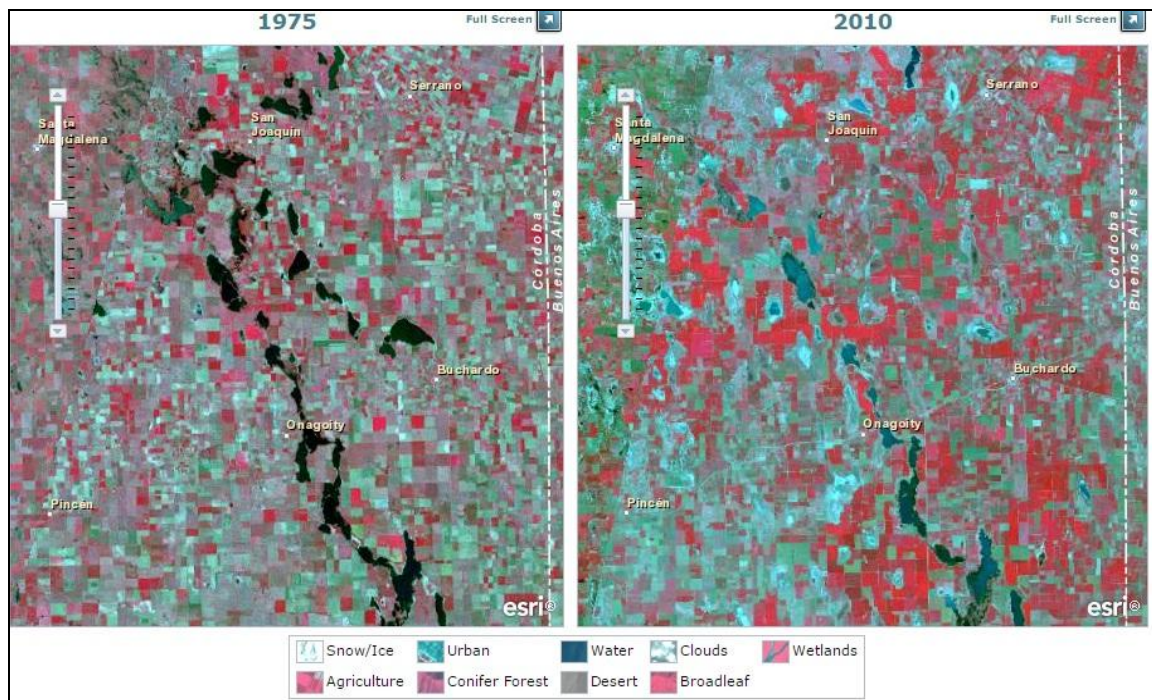
A mayor intensidad de uso de la tierra, mayores cargas de nutrientes y mayores concentraciones de los mismos en la laguna. Según Quirós *et al.* (2002) las lagunas con las mayores concentraciones de nutrientes también presentaron las mayores biomásas para el fitoplancton, el zooplancton y el total de peces y discriminó dos tipos de grandes lagunas pampeanas de carácter permanente: a) lagunas con relativamente baja biomasa de fitoplancton y abundante desarrollo de la macrófita acuática arraigada, sumergida o emergente; y b) lagunas con abundante desarrollo del fitoplancton pero escaso desarrollo de la macrófita acuática. El primer tipo coincide con lo que comúnmente se conoce como lagunas “claras”, de aguas relativamente transparentes y alta abundancia relativa de peces piscívoros de alto porte. El segundo coincide con lagunas verdes y “turbias”, de baja transparencia, generalmente con alta abundancia de peces planctívoros visuales. Para un subconjunto de estas últimas, las aquí denominadas “altamente turbias”, generalmente también impactadas por descargas orgánicas no tratadas, se produce un incremento en la abundancia relativa de los planctívoros filtradores. A través del análisis de imágenes Hyperion y del procesamiento de imagen adecuado, estas lagunas eutrofizadas, presentaban colores más claros y mayor turbidez. (Fig. 8.1).



**Figura 8.1:** Lagunas eutrofizadas con elevada reflectividad, imagen Hyperion bandas 29-23-16.

## Canalizaciones

Las canalizaciones (Fig. 8.10) y secado de las lagunas para el desarrollo de las actividades agropecuarias modificaron enormemente el número de lagunas presentes y provocó, por otro lado, una modificación tal en el flujo del agua que provocó inundaciones en la zona y en la vecina provincia de Buenos Aires. En la foto satelital (Fig. 8.9), para el año 1975 se aprecia un conjunto de lagunas de grandes dimensiones, encadenadas, ubicadas en paleocauces del río Quinto que posteriormente, fueron secadas y canalizadas para un aprovechamiento de los suelos tal como se observa en la figura para el año 2010.



**Figura 8.9:** Imágenes Landsat año 1975 y año 2010. Se observa como varió el número de lagunas presente producto de la canalización de las mismas.



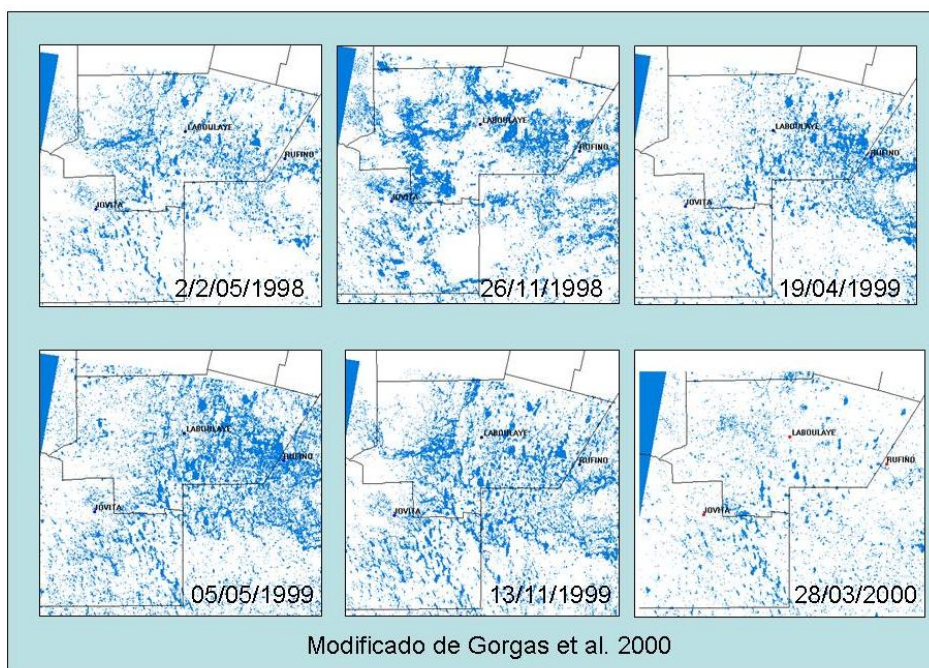
**Figura 8.10:** Vista al Canal que interconecta las lagunas en el Sur de la provincia de Córdoba.

## Inundaciones

### Factores Naturales

La planicie arenosa del sur es un área, que como se explicó anteriormente, esta ubicada en una zona deprimida y mal drenada. Degioanni *et al.* (2002) la señalan como un relieve muy plano, con muy baja pendiente general, favoreciendo la acumulación de agua en charcas o lagunas, el anegamiento de grandes extensiones de suelos y un traslado superficial del agua muy lento. Otro de los factores naturales que estos autores destacan es la presencia de suelos hidromórficos, con baja permeabilidad debido a la presencia de horizontes sódicos y a la existencia de una capa freática salina próxima a la superficie del suelo (INTA -SMAGyRR, 1987).

Según Degioanni *et al.* (2002) el principal factor desencadenante de las inundaciones en el sur de Córdoba son las lluvias. Estos autores realizan un análisis de las precipitaciones y observan que desde la década del 70 se observa, por un lado un incremento de la precipitación media anual (Paoli *et al.*, 2000) pasando de 760 mm anuales para la serie 1903 - 1970 a 907 mm anuales para la serie 1971-1999 (Rang *et al.* 1999; Milanesio *et al.* 1999) y por el otro, la recurrencia de lluvias que superan ampliamente la media anual o estacional como ocurrió en el período 1997-2001, lo que generó un severo proceso de inundación-anegamiento. Según Gorgas *et al.* (2000) la peor situación se verificó durante los otoños, con una condición extrema el 2 de mayo de 1998, registrándose condiciones semejantes, aunque de menor magnitud el 5 de mayo de 1999 (Fig. 8.11). Con respecto a las primaveras, en noviembre del 1999 fue considerablemente más grave que la ocurrida el año anterior.



**Figura 8.11:** Anegamiento de la planicie Eólica Arenosa del Sur.

Respecto a el escurrimiento superficial, según Degioanni *et al.* (2002), éste posee dos componentes: los aportes externos a través de los cursos de agua provenientes de otros ambientes y los aportes locales de los propios excedentes del área. Los sistemas fluviales poseen una importante acción erosiva en sus cauces. Esta particularidad, mas allá de los problemas locales que generan (derrumbe de márgenes, socavaciones en obras de infraestructura vial, etc.) provoca un gran aporte, transporte y deposición de sedimentos en la región. Las medidas de turbidez medidas en campo realizadas a la laguna La Margarita, alimentada por el río Quinto, arroja resultados que concuerdan con esta problemática. El disco de Secchi, elemento utilizado, se dejaba de observar a tan solo 30 cm de profundidad, lo que demuestra el gran contenido de elementos en suspensión producto de la erosión de su cauce, que poseen las lagunas con una influencia fluvial. Poco a poco se van colmatando los cuerpos de agua que, a menudo, actúan como embalses naturales. Según Degioanni *et al.* (2002) pierden, por tanto, su función laminadora de hidrogramas de avenidas y, en consecuencia, su capacidad como reguladoras de los excedentes hídricos. Este proceso de colmatación ha provocado la desaparición de dos lagunas que regulaban los picos de crecidas de ingreso a la región: El Tigre Muerto y La Amarga, hoy transformadas en humedales o bañados.

Con respecto al balance hídrico, según Degioanni *et al.* (2002), la distribución estacional de las precipitaciones presenta una marcada concentración en los meses de verano – otoño. Dado que la principal salida de agua es a través de la evapotranspiración, la ocurrencia de precipitaciones de magnitud al inicio de otoño, donde la evaporación disminuye notoriamente, da lugar a una mayor permanencia de las disponibilidades hídricas hasta el inicio del próximo verano. El tiempo de recuperación de la capacidad de almacenamiento de estos sistemas hídricos es mayor que la sucesión de los periodos lluviosos, por lo que lluvias de menor magnitud pueden conducir al estado de inundación.

#### **Factores antrópicos observados en campo:**

- La presencia de una red de canales que alteran la circulación natural.
- Una red de caminos que actúan modificando el curso natural de los escurrimientos superficiales y el normal funcionamiento del sistema de Humedales (Fig. 8.12).
- El uso agrícola sobre suelos de aptitud ganadera que produce la degradación física de los suelos incrementando la escorrentía local.





**Figura 8.12:** Camino afectando al normal funcionamiento en la laguna del Bajo, Huinca Renancó.



## IX. NOVENO BLOQUE

### DISCUSIÓN

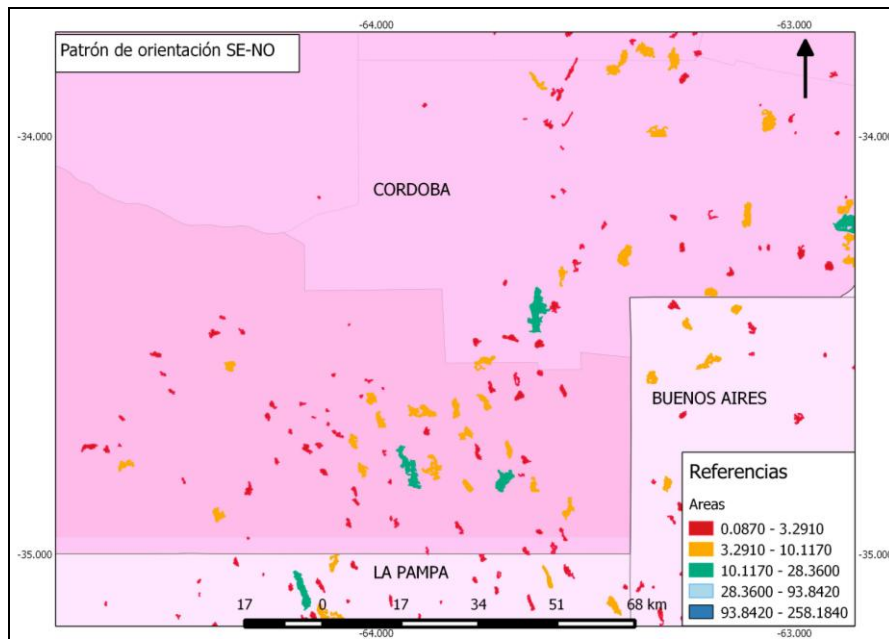
Las lagunas del sur de la provincia de Córdoba se encuentran inmersas dentro del sistema eólico iniciado en el Pleistoceno tardío denominado “Mar de Arena Pampeano” consecuencia de ciclos sucesivos secos y húmedos acontecidos en el cuaternario tardío. Estos cambios climáticos alternantes son los responsables de generar un paisaje dominado por dunas y mantos de arenas con presencia de bañados y lagunas temporarias y permanentes. Durante los períodos de aridez se desarrollaron procesos eólicos formadores de campos de dunas, mantos de arenas y cubetas de deflación. Durante los períodos húmedos se desarrollaron redes fluviales, pedogénesis y disipación de las dunas, resultando en un rebajamiento y modificación del relieve eólico heredado y en la formación de un sistema de humedales. La dinámica hídrica actual y el paisaje del sudeste de la provincia obedecen a la evolución del mismo y a la herencia de paleoformas eólicas y fluviales. El clima actual permite el desarrollo de lagunas temporarias, cañadas y bañados que ocupan las depresiones eólicas y fluviales.

Son lagunas que además de estar relacionado su origen a depresiones de origen eólico y fluvial, según Cantú y Degiovanni (1984) y Degiovanni *et al.* (2005) también podrían relacionarse con la generación de condiciones de drenaje impedido por posible actividad neotectónica en el Pleistoceno tardío.

Estos cuerpos de agua poseen un comportamiento fluvial, eólico o mixto y algunas depresiones, principalmente las de mayor elongación, profundidad y superficie, se encuentran ligadas y controladas por lineamientos en el sur de la provincia de Córdoba. Esto se ve reflejado en las lagunas asociadas al escarpe del alto estructural de El Cuero y en las lagunas ubicadas en paleocauces del río Quinto en el sur provincial. Respecto a esto, se observa que las lagunas poseen una barranca occidental más alta y abrupta.

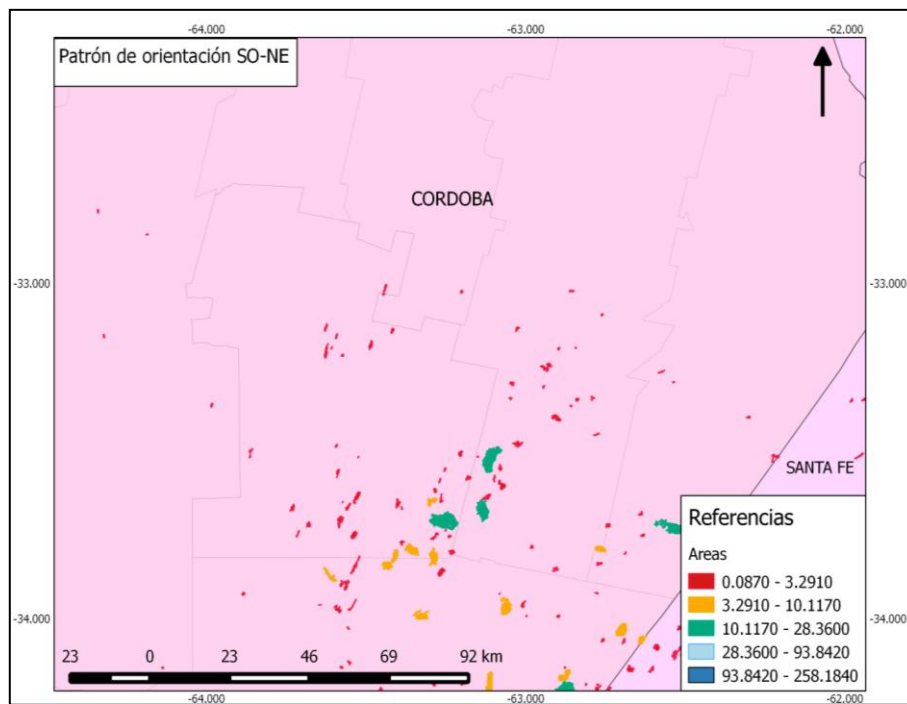
Conforman un sistema de lagunas temporarias y permanentes, con bordes salinos, alimentadas por la freática que fluctúa cerca de la superficie, por las aguas de escorrentía superficial y precipitaciones.

Poseen dos patrones de orientación NO↔SE y NE↔SO. Hacia el sur de la provincia, en cercanía a los límites de La Pampa y Buenos Aires, domina el primer patrón principalmente coincidiendo esta orientación con lagunas ligadas a paleocauces del río Quinto y ubicadas en depresiones de origen tectónico y fluvial (Fig. 9.1).



**Figura 9.1:** patrón de orientación principal NO↔SE.

El otro patrón principal de orientación, NE↔SO, se visualiza en cercanías a las localidades de Laboulaye, Ruiz Díaz de Guzmán Y Curapaligüe (Fig.9.2), en el centro-sur de la Planicie Eólica Arenosa del sur.

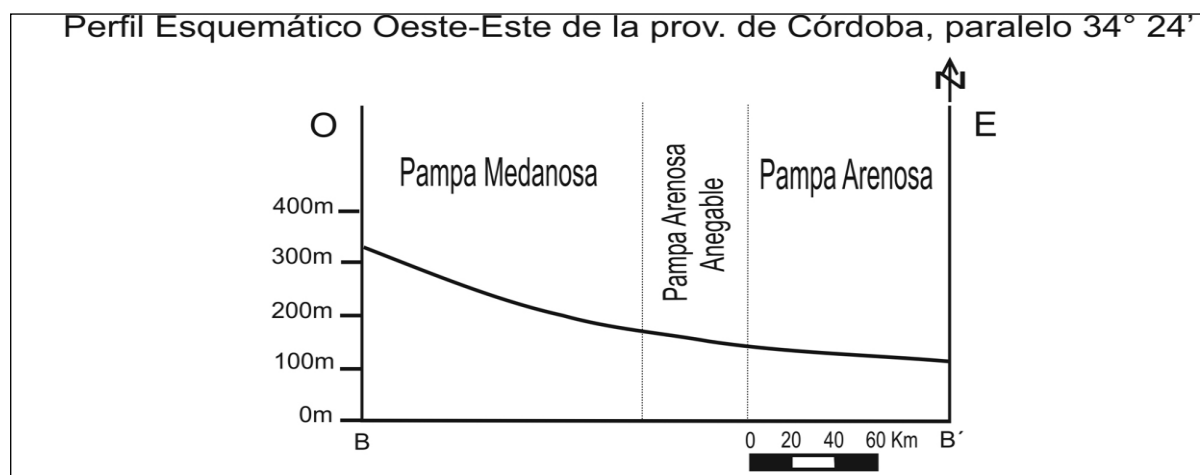


**Figura 9.2:** Patrón de orientación principal NE↔SO.

Por medio del uso de los sensores remotos y el procesamiento digital de imágenes satelitales se puede establecer que se trata de lagunas someras, de baja profundidad y de límites irregulares y netos. La turbiedad de las lagunas varía según la ubicación de las mismas, su relación con el uso de la tierra, o según se encuentren netamente influenciadas por la red fluvial.

En base a los parámetros morfométricos obtenidos, las lagunas del sur de la provincia de Córdoba constituyen humedales cuyos parámetros morfométricos varían según su ubicación en la unidad geomorfológica correspondiente.

Se observa que se trata de un grupo de lagunas muy numerosas, de pequeñas dimensiones, con algunas excepciones. El número de lagunas presentes disminuye a medida que aumenta la altura del terreno. Para la Pampa Medanososa en el sur de la provincia de Córdoba, la densidad de lagunas ( $n=30$ ) resultó ser menor que para el resto de las unidades geomorfológicas, aumentando el número de las mismas a medida que la altura del terreno decrece y con el mayor desarrollo de ellas en la Pampa Arenosa Anegable y en la Pampa Arenosa donde el número de lagunas contabilizadas correspondió a 73 y 63 respectivamente (Fig. 9.3).

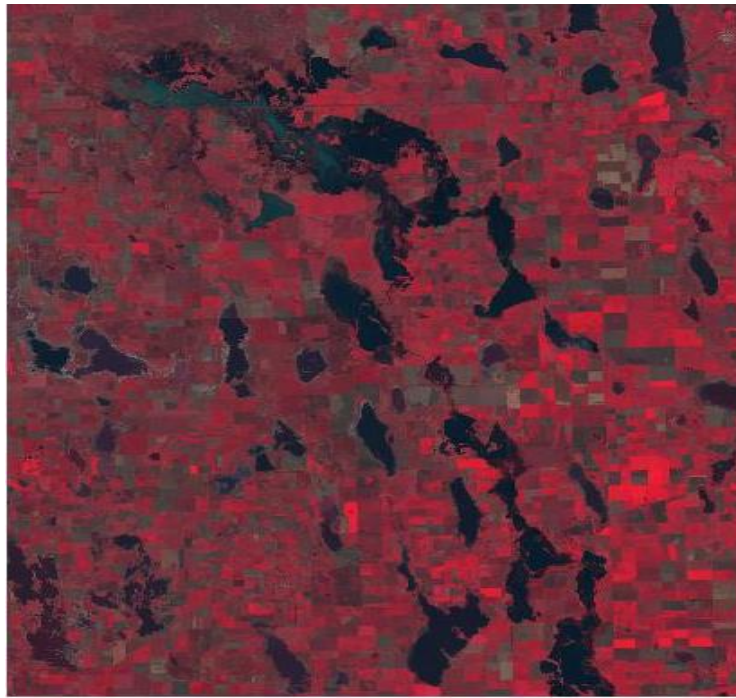


**Figura 9.3:** Perfil esquemático Oeste-Este de la provincia de Córdoba (Jarsún *et al.* 2006).

El área de las lagunas es un parámetro morfométrico que varía según la evaporación y precipitación. Para el “Mar de Arena Pampeano” tiene un valor medio igual a  $3,43 \text{ km}^2$ . La superficie total ocupada por lagunas en este gran sistema eólico central es igual a  $1634,53 \text{ km}^2$ .

Dentro de la provincia de Córdoba, las áreas mayores se encuentran presentes dentro de la unidad geomorfológica Pampa Arenosa Anegable, la cual posee la mayor cantidad de cuerpos de agua, los cuales desarrollan grandes dimensiones (Valor medio= $3,14 \text{ km}^2$ ). Muchas de las lagunas inmersas en esta unidad se encuentran ubicadas en paleocanales del río Quinto e influenciadas por éste. Éstas, además de los cambios en sus dimensiones por los procesos de evaporación y precipitación, sufren modificaciones de sus superficies debido a las actividades reguladas por embalses y presas que

controlan el comportamiento del río Quinto en la provincia de San Luis y Córdoba. Estas lagunas se destacan por su gran dimensión y por estar dispuestas en rosario y afectadas por lineamientos (Fig. 9.4). Suman una superficie de ocupación total igual a 229,55 km<sup>2</sup>.



**Figura 9.4:** Lagunas en rosario, controladas por el comportamiento del Río Quinto. Imagen LandSat bandas 4-3-2.

La unidad geomorfológica Pampa Medanosa posee las lagunas con menores áreas. Su media es de tan solo 1,63 km<sup>2</sup> a diferencia de las otras dos unidades cuyos valores son muchos mayores.

Respecto al perímetro de las mismas, éste, es un parámetro morfométrico altamente variable según las precipitaciones y descargas subterráneas. Las lagunas inmersas en el mar de arena pampeano (n=477) suman un perímetro total de 6078,752 km, pero sus valores fluctúan según el clima y nivel freático. El conjunto de las lagunas de la unidad geomorfológica Pampa Arenosa Anegable suma una longitud de costa de 1079 km frente a un desarrollo igual a 276,09 km y 647,03 km para la Pampa Medanosa y la Pampa Arenosa respectivamente.

Con respecto al Índice de Desarrollo de Costa, los resultados de este parámetro indican que las lagunas inmersas en el “Mar de arena Pampeano” dentro de las provincias de Córdoba, Santa fe, La Pampa y Buenos Aires poseen un valor medio de DI igual a 2,24.

La unidad con el mayor Índice de desarrollo de costa pertenece a la denominada Pampa Arenosa Anegable con un valor de DI igual a 2,52. Este valor estaría indicando la presencia de lagunas con formas elípticas a irregulares, con valores alejados a la unidad, típico resultado de cuerpos de agua elongados, en rosario, ocupantes de paleocauces fluviales y cubetas de deflación.

El DI es menor en los cuerpos acuáticos presentes en la Pampa Medanosa. Allí, predominan los cuerpos subcirculares por encima de los elípticos e irregulares.

Con respecto a la relación de los humedales con los vientos actuales reinantes en la región, las mayores influencias se dan en las lagunas ubicadas dentro de la Pampa Arenosa Anegable y Pampa Arenosa, donde se constató que a medida que aumentan las velocidades del mismo, los cuerpos de agua aumentan tanto en número como así también en su dimensión areal. Esto no sucede en la Pampa Medanosa, donde se dan los menores valores de velocidad de viento, demostrando así la poca relación de esta última unidad con los valores de viento actual.

Las lagunas que poseen patrones de distribución SO-NE ubicadas en la Pampa Arenosa al norte de la planicie eólica arenosa del Sur son las que mayormente coinciden con la dirección de vientos actual. Lo mismo sucede con las lagunas ubicadas al Norte de la unidad geomorfológica Pampa Arenosa Anegable, donde el eje mayor de las mismas coincide con la dirección predominante de vientos.

Los parámetros morfométricos arrojados por el cálculo por medio de SIG permiten establecer que la unidad Pampa Arenosa Anegable, es la que posee los cuerpos de mayores dimensiones, mayores DI, formas subcirculares a elípticas y una alta relación con la acción eólica actual.

Los cuerpos acuáticos de la región son cuerpos de escasas dimensiones, de costa irregular y forma subcircular a elíptica.

Además, las unidades de estudio son áreas muy vulnerables a las inundaciones. La Planicie Eólica Arenosa del Sur está ubicada en una zona deprimida y mal drenada, lo que favorece la acumulación de agua en lagunas, el anegamiento de grandes extensiones de suelos y un traslado superficial del agua muy lento. Debido a esto, es fundamental una adecuada planificación territorial y los estudios de riesgos.

La amplia superficie cubierta de agua y los kilómetros totales de costa son de fundamental importancia para el ecosistema de la región. Estos humedales albergan gran cantidad de especies de variada diversidad biológica, son elementos fundamentales en la recarga y descarga de acuíferos, en el control de inundaciones, provisión de agua, regulación del clima y usos recreacionales. Dinámicamente, constituyen una vía de transporte y circulación de agua, sedimentos y sales.



## X. CONCLUSIONES

- El uso de un sistema de información geográfico (SIG) resultó de ser una herramienta fundamental para el análisis morfométrico de las lagunas. A través de su utilización se pudo establecer los parámetros morfométricos principales y realizar cálculos, análisis y digitalización de información bajo un sistema de georeferenciación.
- Los sensores remotos y el procesamiento digital de imágenes espectrales e hiperespectrales así como también el uso de sistema de información geográfica SIG son herramientas esenciales ya que la utilización de las mismas es un método óptimo de trabajo cuando se trata del estudio de grandes áreas debido a las ventajas que brindan los principios de la teledetección principalmente en lo referido a la gran cobertura global , perspectiva panorámica, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones y transmisión a tiempo real.
- El procesamiento digital de las imágenes satelitales es un método óptimo para estimación de profundidad. Se corroboraron los valores de profundidad tomados durante la campaña hidrográfica a la laguna La Margarita (profundidades mayores a los 3,5 m), logrando ajustar estos valores con los brindados digitalmente por el programa haciendo uso del método de rangos o pseudocoloreado.
- La combinación de bandas espectrales e hiperespectrales son procesos óptimos para la delimitación y reconocimientos de límites de cuerpo de agua-tierra de las lagunas y analizar óptica y temporalmente su turbidez.
- Las lagunas del sur de Córdoba son producto de la deflación y remodelación eólica en períodos de aridez y sucesivos periodos de humedad ocurridos durante el cuaternario tardío con una gran influencia del clima actual.
- Algunas, además de sufrir remodelación eólica, se encuentran condicionadas y ligadas a lineamientos tales como la laguna La Margarita, Nelson, La legua, o las lagunas dispuestas en escarpes de fallas correspondientes a altos estructurales.
- Las mayores áreas, perímetros e índice de desarrollo de costa se encuentran presentes en la unidad Pampa Arenosa Anegable, lo que coincide con las características geomorfológicas de la misma. Los valores de área y perímetro son parámetros ligados a las condiciones climáticas actuales de la región.
- El índice de desarrollo de costa arrojó valores que permiten clasificar y describir a las lagunas como depresiones de forma subcircular a elípticas, de bordes irregulares, ocupantes

de cubetas de deflación, ligadas a paleocauces y a dunas parabólicas y ocupantes de corredores entre dunas.

- Los vientos actuales poseen una influencia en las mismas cuando las velocidades de los mismos alcanzan valores superiores a los 4,50 m/s aumentando el número de lagunas presentes, y aumentando su elongación o dirección del eje mayor en función de la dirección e intensidad de vientos.
- La laguna La Margarita es una depresión de origen fluvial con remodelación eólica, ubicada en un paleocauce, de forma cóncava, modificada por procesos de oleaje y erosión y donde se produce transporte y acumulación de partículas finas.
- Las lagunas son cuerpos de agua reguladores de las crecidas e inundaciones pero poseen alto grado de colmatación de sedimentos, lo que provoca una disminución de su capacidad reguladora.
- Son lagunas muy antropizadas, con alta influencia de la mano del hombre, a través de la presencia de canales de drenaje, infraestructura, uso para riego y desarrollo urbano.
- Son lagunas muy eutrofizadas. Las características ópticas de turbidez permiten establecer que se trata de una laguna cuyo estado trófico corresponde a un eutrofismo a hipertrofismo consecuencia directa de las actividades del uso de la tierra circundante que introduce un exceso de nutrientes.

## CONSIDERACIONES FINALES

- 1) Las lagunas poseen un dinamismo que responde a las condiciones de clima actual pero la morfología del paisaje y la morfometría de los cuerpos de agua en particular, están ligados a los procesos evolutivos de sucesivos cambios climáticos húmedos y secos acontecidos durante el cuaternario tardío que generaron y modificaron el relieve actualmente heredado. El comportamiento actual de las lagunas responde tanto a las condiciones climáticas actuales así como también a las características geomorfológicas de las unidades donde se encuentran inmersas.
- 2) Las lagunas del Sur de Córdoba se encuentran ampliamente modificadas y bajo acciones antrópicas que alteran su normal funcionamiento y ecosistema natural. La utilización de las mismas para riego, la construcción de caminos, las actividades agropecuarias, la construcción de una red de canales y la eutrofización elevada son ejemplos de ello. Es

importante el monitoreo, conservación y gestión de los humedales para lograr un control adecuado de las acciones del hombre en el área, para la mantención de la biodiversidad que en ellos habitan, y para evitar las consecuencias ligadas a la modificación del mismo, principalmente manifestadas en anegamientos y elevada eutrofización.

## XI. BIBLIOGRAFIA

- Aimar, L., Bustamante A., Molina C., Giovanola, C., Menghi, M. 2010. Relación entre la limnología de lagunas pampeanas (SE Córdoba) y la cobertura y uso del suelo. RASADEP 1-Número Especial. Cambios de uso de la tierra. Causas, consecuencias y mitigación. Asociación Argentina de Ecología de Paisajes. Pp.: 3 - 14.
- Ameghino, F., 1885. Informe sobre el Museo Antropológico y Paleontológico de la Universidad Nacional de Córdoba durante el año 1885. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Córdoba VII, 347-360.
- Bécher Quinodóz, F. 2012. Implicancias ambientales de las relaciones hidrodinámicas e hidroquímicas entre aguas superficiales y subterráneas en la planicie arenosa del Sur de Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral 2º Informe, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédito). 70 p. Río Cuarto.
- Bécher Quinodóz, F. 2014. Implicancias ambientales de las relaciones hidrodinámicas e hidroquímicas entre aguas superficiales y subterráneas en la planicie arenosa del sur de Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 383 p. Río Cuarto.
- Bécher Quinodóz, F., Blarasín, M. y Damilano, G. 2013. Evaluación de Relaciones Geomorfología - Calidad de Agua Subterránea con apoyo de Técnicas Estadísticas en la Planicie Sudoccidental de Córdoba, Argentina. En González, N., Kruse, E., Trovatto, M. y Laurencena, P. (eds.) Agua Subterránea Recurso Estratégico, 2: 123–130.
- Blarasín, M. 1984. Hidrología subterránea de la zona de Laguna Oscura. Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura (inédita), 98 p. Río Cuarto.
- Blarasín, M. y Sánchez, M. 1987. Secuencia evolutiva de dunas cuaternarias en el sector de la Laguna Oscura. Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, República Argentina. 10o Congreso Geológico Argentino, Actas, 3: 297–300.
- Blarasín, M., Cabrera A., Matteoda, E., Frontera, H., Aguirre, M., Maldonado, L., Bécher Quinodóz, F. y Giuliano Albo, J. 2014. Recursos Hídricos Subterráneos. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino. D: 1233-1261. Córdoba

- Bodenbender, G., 1921. Reseña hidrogeológica de la cuenca del Río Primero en Córdoba. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Córdoba XXV, 205-230.
- Brenner, J. 1997. Estimación de batimetría utilizando datos multiespectrales caso de estudio laguna La Naca, Tamaulipas. Tesis. Monterrey.
- Brunetto, E. e Iriondo, M. 2007. Neotectónica en la Pampa Norte (Argentina). Revista de la Sociedad Geológica de España 20: 17–29.
- Burrough, P.A., 1993. Principles of geographical Information systems for land resources assessment, Claredon Press, Oxford, 194 p.
- Buschiazzo, D.E. y Aimar, SB. 2003. Erosión eólica: Procesos y Predicción. En: Viento, Suelo y Plantas. Golberg y Kin (Eds). INTA.
- Cantú, M. y Degiovanni, S. 1984. Geomorfología de la Región Centro Sur de la Provincia de Córdoba. 9º Congreso Geológico Argentino. Actas 4: 76–92. San Carlos de Bariloche.
- Cantú, M. y Degiovanni, S. 1987. Génesis de los sistemas lagunares del centro-sur de la Provincia de Córdoba, República Argentina. 10º Congreso Geológico Argentino, Actas, 3: 289–292. San Miguel de Tucumán.
- Carignano, C. 1996. Evolución geomorfológica de las planicies en la Provincia de Córdoba durante el Pleistoceno superior. Revista del Instituto de Geología y Minería 11: 7–26.
- Carignano, C. 1997a. Caracterización y evolución durante el Cuaternario superior de los ambientes geomorfológicos extraserranos en el noroeste de la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 208 p. Córdoba.
- Carignano, C. 1997b. El Holoceno de la Provincia de Córdoba. Revista del Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy; Lugar: San Salvador de Jujuy 11: 1–20.
- Carignano, C. 1999. Late Pleistocene to Recent climate change in Córdoba Province, Argentina: Geomorphological evidence. Quaternary International 57/58 pp. 117-134.



- Carignano, C., Kröhling, D., Degioanni, S. y Cioccale, M. 2014. Geomorfología. Relatorio del XIX congreso geológico Argentino A: 747-821. Córdoba.
- Chebli, G., Mozetic, M., Rossello, E. y Buhler, M. 1999. Cuencas sedimentarias de la llanura chacopampeana. En Caminos, R. (ed.). Geología Argentina. Instituto de Geologic y Recursos Minerales, Anales 29: 627–644. Buenos Aires.
- Cioccale, M. 1999. Climatic fluctuations in the Central Region of Argentina in the last 1000 years. Quaternary International 62 pp. 35-47.
- Cisneros, J., Degioanni, A., Gil, H., Cantero A., Gutierrez, M., Reynero, A., Chiapparoli, A. y Chesta, D. 2002. Principales procesos de erosión- sedimentación en la cuenca media y derrames del río Popopis (Quinto). 19o Congreso Nacional del Agua, Editado en CD: p.10. Carlos Paz, Cordoba.
- Conde-Porcuna, J.M., Ramos-Rodríguez, E. y Morales-Baquero R. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lenticos. 2004. Ecosistemas 13 (2): 23-29.
- Córdoba, F., Piovano, E., Mulsow, S. y Zárate, M., 2008. El registro climático reciente de las Lagunas Encadenadas del Oeste de Buenos Aires. XII Reunión Argentina de Sedimentología. Buenos Aires. Actas de Resúmenes: 61 pp.
- Dangavs, N. (1976). Descripción sistemática de los parámetros morfométricos considerados en lagunas pampásicas. Limnobiós. Buenos Aires, Argentina. 1: 35-39.
- Dangavs, N. (2005b). La Formación La Postrera I, II, III y IV de la laguna Las Barrancas de Chascomús, provincia de Buenos Aires. 16o Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 115-122. La Plata.
- Dangavs N. y Mormeneo M. 2012. Geolimnología y Paleolimnología de la laguna Adela, Chascomús, Buenos Aires, Argentina. Revista del Museo de La Plata, Sección Geología. 13 (116): 1-26.
- Degioanni, A., Reynero, M.A., Cisneros, J., y Cantero, A. 2002. Batimetría de lagunas mediante teledetección: ajustes de un modelo empírico en el sureste de Córdoba, Argentina. Revista de Teledetección. 17: 89-95.

- Degioanni, A., Cisneros, J., Canteros, A. 2002. Las inundaciones en la provincia de Córdoba (Argentina) y las tecnologías de información geográfica: Ejemplos de aplicación. Serie Geográfica N°.10 - 2002: 143-163.
- Degiovanni, S. 2008. Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba, en especial del Ao Achiras - del Gato, como base para su gestión sustentable. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 597 p. Río Cuarto.
- Degiovanni, S. y Blarasín, M. 2005. Hidrología superficial y morfodinámica de sistemas fluviales en el Sur de Cba. En Blarasín M., Degiovanni, S., Cabrera, A. y Villegas M. (eds.). Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto: 31–40. Río Cuarto.
- Degiovanni, S., Echevarría, K., Andreazzini, J. y Doffo, N. 2014. Los sistemas fluviales del Sur de Córdoba: alteraciones históricas, procesos de ajustes y consecuencias ambientales. Actas 19o Congreso Geológico Argentino, Córdoba.
- Dillon, A. y Rabassa, J. (1985). Miembro La Chumbiada, Formación Luján (Pleistoceno, provincia de Buenos Aires): Una nueva unidad estratigráfica del valle del río Salado. Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, Resúmenes, p. 27. Tandil.
- Drago, E. y Quirós R. 1996. The hydrochemistry of the inland waters of Argentina; a review. Int. J. Salt Lake Res. 4: 315–325.
- Elorriaga, E. y Tullio, J. 1998. Relieve Superficial y Estructuras del Subsuelo y su influencia en la morfología en el Norte de la Provincia de La Pampa. 8o Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires.
- Felícísimo, A.M. 1994. Modelos Digitales del Terreno, Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales.
- Ferpozzi, L. 1988a. Principales rasgos geomorfológicos y dinámica hídrica de un sector de la llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba, República Argentina. 2o Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos, Actas. p. 23. Bogotá.

- Forneron C., Piccolo M. y Carbone M. 2010. Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande, Argentina. *Huellas* N°. 14, ISSN 0329-0573 pp. 11-30.
- Francisca, F.M., Cebollada-Verdaguer P. y Carro Pérez M.E. 2006. Distribución espacial del arsénico en las aguas subterráneas de la provincia de Córdoba, Argentina. VIII Congreso de ALHSUD, Asunción, Paraguay.
- Franklin Consult. 1985. Estudio de prefactibilidad de esquemas alternativos para el aprovechamiento de los volúmenes de agua excedentes localizados en el área comprendida entre 36° y 32° LS y 62° y 65° LO. Informe Final. Consejo Federal de Inversiones. Tomos 1–5. La Pampa.
- Fuschini Mejía, M.C. 1994. El agua en las llanuras. UNESCO/ORCYT. Montevideo, Uruguay. 54p.
- García, O. 1992. Síntesis climatográfica de la República Argentina. In: Iriondo, M. (Ed.), El Holoceno en La Argentina, Paraná, Argentina, vol. I, pp. 79-102.
- Giordano, L.R. 2008. Caracterización hidrogeoquímica del entorno rural de Huinca Renancó. Córdoba. Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura (inérita), 104 p. Río Cuarto.
- González Díaz, E. 1981. Geomorfología. En: Irigoyen, M. Geología de la Provincia de San Luis. Relatorio 8o Congreso Geológico Argentino 193–236. Buenos Aires.
- Gorgas, J., Pappalardo, J., Bustos, V. y Reynoso, D. 2000. El Satélite Landsat Vigila el Sur Inundado. Informe Técnico. <http://www.conae.gov.ar>.
- Gorgas, J. y Tassile, J. (eds). 2003. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: Los Suelos, nivel de Reconocimiento 1:500.000. Agencia Córdoba Ambiente S. E., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi. Córdoba, Argentina.
- Gorgas, J. y Tassile, J. 2006. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: Los Suelos. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. Agencia Córdoba Ambiente S. E., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi. Córdoba, Argentina.
- Gutiérrez-Elorza, M. 2001. Geomorfología Climática. Omega. Barcelona. 642 p.

- Hakanson, L. 1981. A manual on lake morphometry. Springer Verlag, Berlín. 78 pp.
- Hakanson, L. y Lindgren, D. 2011. Morphometric Classification and GIS-Based Data Analysis in Coastal Modeling and Management. *Open Environmental Sciences*, 5, 1-17.
- Hildreth, W., Drake, R.E., 1992. Volcán Quizapu, Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology* 54, 93–125.
- Hutchinson, E. 1957. A treatise of Limnology. Geography, physics and chemistry. New York. 1015 pp.
- Imbellone, P., Camilión, C., 1988. Characterization of a buried tephra layer in soils in Argentina. *Pedologie* 28, 155–171.
- INTA - SMAGyRR. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Secretaría Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables. 1987. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Laboulaye. Córdoba.
- INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires.
- Iriondo, M. 1989. Quaternary lakes of Argentina. *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology*. 70: 81-88.
- Iriondo, M. 1990a. Map of the South America Plains. Its present state. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 6, 296-308.
- Iriondo, M. 1990b. The Northern Pampa. En *Loess Stratigraphy and Geomorphology of the Pampas* (Post-symposium field excursion). International Symposium on Loess, INQUA.
- Iriondo, M. 1990c. The Late Holocene dry period in the Argentina plains. *Quaternary of South América and Antarctic Peninsula* 7:197–218.
- Iriondo, M. 1991. El Holoceno en el Litoral. *Comunicaciones (nueva serie) del Museo Provincial de Ciencias Naturales “Florentino Ameghino”*. V.3, N°1: 1-39.
- Iriondo, M. 1997. Models of Deposition of Loess and Loessoids in the Upper Quaternary of South America *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 10, No. I. pp. 71-79.

- Iriondo, M. 1999. Climatic changes in the South American plains: Records of a continent-scale oscillation. *Quaternary International* 57/58: 93-112.
- Iriondo, M. y Brunetto, E. 2008. El Mar de Arena Pampeano en el sudeste de Córdoba. 17o Congreso Geológico Argentino, Actas: 1224–1225. Jujuy.
- Iriondo, M. y Kröhling, D. 1995. El sistema eólico pampeano. *Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales, Florentino Ameghino* 5: 1–68.
- Iriondo, M. y Kröhling, D. 1996. Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario superior). 13º Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 27–48. Buenos Aires.
- Iriondo, M. y Kröhling, D. 2007. Geomorfología y Sedimentología de la Cuenca Superior del Río Salado (Sur de Santa Fe y Noroeste de Buenos Aires, Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 14: 1–23.
- Iriondo, M., Krohling, D. y Brunetto, E. 2011. Aridization, dune dissipation and pedogenesis in the Quaternary of Eastern Pampean Sand Sea. En Murphy, J. (ed.) *Sand Dunes: Conservation, Shapes/Types and Desertification*. Nova Science Publishers, Inc. 1–42. USA.
- Jarsun, B., Gorgas, J., Zamora, E., Lovera, E., Ravelo, A. y Tassile, J.L. 2003. Los Suelos de Córdoba. Nivel de Reconocimiento escala 1:500.000. INTA, Agencia Córdoba Ambiente, 541 p.
- Jarsun, B., Gorgas, J., Zamora, E., Lovera, E., Ravelo, A. y Tassile, J.L. 2006. Los Suelos de Córdoba. Nivel de Reconocimiento escala 1:500.000. INTA, Agencia Córdoba Ambiente, 541 p.
- Krohling, D. 1998. Geomorfología y Geología del Cuaternario de la cuenca del río Carcarañá, desde la confluencia de los ríos Tercero y Cuarto, provincias de Córdoba y Santa Fe. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita) 224 p. Córdoba.
- Kröhling, D. y Orfeo, O. 2002. Sedimentología de unidades loésicas (Pleistoceno tardío – Holoceno) del centro-sur de Santa Fe. *AAS Revista* (2002), vol. 9 N°. 2: 135-154.

- Kostadinoff, J. y Gregori, D.A. 2004. La Cuenca de Mercedes, provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59, 488–494.
- Kostadinoff, J., Gregori, D.A., Bjerg, E.A. y Raniolo, A. 2002. Prolongación austral de las Sierras de San Luis. *Revista Asociación Geológica Argentina* 57, 359–364.
- Kostadinoff, J., Gregori, D.A., Raniolo, A., Lopez, V. y Strazzere, L. 2006. Configuración Geológica Geofísica del sector sur de la Provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61, 3–18.
- Lindgren, D. y Håkanson, L. 2011. Morphometric classification and GIS-based data analysis in coastal modeling and management. *Open Environmental Sciences*, 5: 1-17.
- Lucero, R., Faiad, Y. y D'Ercole, N. 2010. XIV Jornadas de investigación y trabajo científico y técnico. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad nacional de Río Cuarto.
- Malagnino, E.C., 1989. Paleoformas de origen eólico y sus relaciones con los modelos de inundación de la Provincia de Buenos Aires. IV Simposio de Percepción Remota, IX Reunión Plenaria SELPER. Bariloche. Argentina. Tomo II, pp. 611– 620.
- Milanesio, A., Cisneros, J. M., Rang, S., Gil, H. y Degioanni, A. 1999. Propuesta de creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al sur de General Levalle - Curapaligue – Laboulaye. Informe Final Beca para el Sector Productivo de Consejo de Investigaciones de Córdoba. 60 p.
- Noe, Y., Elena, H., Morales, C. y Ledesma, F. 2014. Sistemas de información geográfica con QGIS 2.X – Nivel I. Laboratorio de teledetección y SIG, grupo de recursos naturales INTA EEA Salta.
- Paoli, C., Giacosa, R., Bianchi, H., Mazzon, R., Bernal, G., Macedo, G., Montaverde, C. y R. Bravo. 2000. Estudios en el área de derrame del río Quinto y arroyos del sur de Córdoba. Informe Técnico. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Argentina. 30 p.
- Pasotti, P. 1991. El río Saladillo (Provincia de Córdoba). *Anales de la Academia Nacional de Geografía* 14/15: 205–218.



- Piovano, E.L. 2004. Registros Limnogeológicos de Sudamérica y su valor como archivos climáticos del Cuaternario. X Reunión Argentina de Sedimentología Actas. p 5.
- Quintana Salvat, F. y Romero, E. 1993. El río Quinto y las inundaciones en las provincias de Córdoba y Buenos Aires. Análisis geomorfológico. Fotointerpretación 2: 128–143.
- Quirós, R. 2004. Sobre la Morfología de las Lagunas Pampeanas. Serie de Documentos de trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática. Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Documento N° 3, 16 pp.
- Quirós, R. 2005. La ecología de las lagunas de las Pampas. Revista Investigación y Ciencia.
- Quirós, R. y Drago, E. 1999. The environmental state of Argentinean lakes: an overview. Lakes and Reservoirs: Research and Management 4:55–64.
- Quirós, R., Rosso, J., Rennella, A., Sosnovski A. y Boveri M. 2002. Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas argentinas. Interciencia. Volumen 27. N° 11.
- Ramonell, C., Iriondo, M. y Kromer, R. 1992. 5o Reunión de Campo, CADINQUA. San Luis, Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis.
- Ramonell, C., Iriondo, M. y Kromer, R. 1993a. Guía de Campo N°1, Centro-Este de San Luis. 5ta. Reunión de Campo del CADINQUA, 36 p. San Luis.
- Ramonell, C., Tullio, J., Calmels, A. y Carballo, O. 1993b. Provincia de la Pampa. En Iriondo, M. (ed.) El Holoceno en la Argentina 2: 71–80.
- Ramos, V. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En Caminos, R. (ed.). Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(3): 41–96. Buenos Aires.
- Rang, S., Cisneros, J., Milanesio, A., Gil, H. y Degioanni, A. 1999. Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye - Rosales - Leguizamón. Informe Final Beca para el Sector Productivo de Consejo de Investigaciones de Córdoba. 60 pág.

- Ringuelet, R.A. 1962. Rasgos principales de las lagunas pampeanas con criterio bioecológico. Anales de la comisión de investigación científica. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. La Plata, Argentina. Volumen III.
- Ringuelet, R.A. 1972. Ecología y biocenología del hábitat lagunar o lago del tercer orden de la región neotrópica templada (Pampasia Sudoriental de la Argentina). *Physis* XXXI (82): 55-76.
- Ringuelet, R.A., Salibian, A., Claverie, E. e Ilhero, S. 1967. Limnología química de las lagunas pampásicas (provincia de Buenos Aires) *Physis* XXVII: 201-221.
- Romanelli, A., Quiroz Londoño, O.M., Massone, H.E., Martínez, D.E. y Bocanegra, E. 2010. El agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de los humedales del Sudeste Bonaerense, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 121 (4): 373-386.
- Sánchez, M.L., Blarasín, M.T. 1987. Depósitos eólicos cuaternarios de la zona de cuatro vientos. Dto. de Río Cuarto, provincia de Córdoba, República Argentina. X Congreso Geológico Argentino. Actas 3, 293–296. San Miguel de Tucumán.
- Sigal, A., Rodríguez, R., Cioccale, M. y Leiva, E.P.M. 2013. Análisis del potencial de producción de hidrógeno a partir de energía eólica y energía solar en la provincia de Córdoba. V Congreso Nacional y IV Congreso Iberoamericano de Hidrógeno y Fuentes sustentables de Energía, Córdoba, Argentina.
- Stappenbeck, R. 1911. Geología de la falda oriental de la Cordillera del Plata (Provincia de Mendoza). Anales del Ministerio de Agricultura (República Argentina), Sección Geología, Mineralogía y Minería 12: 1–49. Buenos Aires.
- Stolk, M.E., Verweij, P.A., Stuip, M., Baker, C.J. y Oosterberg, W. 2006. Valoración Socioeconómica de los Humedales en América Latina y el Caribe. Wetlands International. Los Países Bajos.
- Timms, B. 1992. Lake geomorphology. Gleneagles Publishing, Adelaide.

- Tonni, E.P. y Fidalgo, F. 1978. Consideraciones sobre los cambios climáticos durante el Pleistoceno tardío-Reciente de la provincia de Buenos Aires. Aspectos ecológicos y zoogeográficos relacionados. *Ameghiniana* 15:235-253.
- Tripaldi, A., Ciccioli, P.L., Alonso, M.S. y Forman, S.L. 2010a. Petrography and geochemistry of late Quaternary dune fields of western Argentina: provenance of aeolian materials in southern South America. *Aeolian Research* 2 (1), 33–48.
- Tripaldi, A., Zárate, M., Forman, S., Badger, T., Doyle, M. y Ciccioli, P. 2013. Geological evidence for a drought episode in the western Pampas (Argentina, South America) during the early–mid 20th century. *The Holocene* 0(0) 1–16.
- Vervoorst, F.B. 1967. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado. La Vegetación de la República Argentina, Serie Fitogeográfica N° 7. Buenos Aires INTA. 259 p.
- Viñals, M. J. 1999. “La variabilidad de las cubetas de los humedales mediterráneos: forma y procesos geomórficos”. *Humedales Mediterráneos* 1. 91-98. Sehumed, Valencia España. ISSN: pp. 1137-7755.
- Wetzel, R.G. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 696 pp.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. 2 Ed., Philadelphia, Pennsylvania, Saunders. 743 pp.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 1979. *Limnological Analyses*. W.B. Saunders Co., Philadelphia. 357 pp.
- Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22 (2003) 1987–20061.
- Zárate, M. y Tripaldi A. 2012. The Aeolian system of central Argentina. *Aeolian Research* 3, pp. 401–417.

## **XI. ANEXOS**

