

## ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DE APORTES A LA LAGUNA DEL CHAÑAR (PROVINCIAS DE SANTA FE Y BUENOS AIRES), ARGENTINA

Juan M. G. RACCA & Carlos A. CANOBA



Boletín  
del Instituto de  
Fisiografía y Geología

Racca J.M.G. & Canoba C.A., 2014. Estudio geomorfológico de la cuenca de aportes a la Laguna del Chañar (Provincias de Santa Fe y Buenos Aires), Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 84: 1-28. Rosario, 16-11-2014. ISSN 1666-115X.

**Resumen.** - El área involucrada en este estudio (9137.4 km<sup>2</sup>) corresponde al sur de la provincia de Santa Fe y al norte de la de Buenos Aires (República Argentina), limitada por las longitudes oeste 62°14'42" y 61°25'03" y por las latitudes sur 33°33'05" y 34°36'47" (WGS84). Este área está localizada en la llanura pampeana, mayormente en la subunidad que los geógrafos denominan "Pampa de las Lagunas" y los geólogos "Pampa Deprimida", y se caracteriza por tener un relieve de muy baja amplitud.

El objetivo del estudio geomorfológico fue aportar conocimientos vinculados con los comportamientos hidrológico, hidráulico y ambiental de la cuenca de aportes a la laguna Del Chañar, atendiendo al futuro manejo sustentable de los recursos hídricos; por tanto se consideró como eje fundamental a la elaboración de la cartografía geomorfológica acompañada con un desarrollo importante de la morfometría. Para la confección de la cartografía se utilizó el criterio de mapeo del ITC de Holanda, adoptando la escala 1:100.000 que se corresponde con los proyectos a nivel de prefactibilidad técnica. Se desarrollaron modelos digitales del terreno que fueron de gran utilidad para aportar información relevante. Los mosaicos de imágenes del satélite Landsat 7 procesados constituyen la base icónica de varios modelos utilizados para la interpretación visual, siendo muy efectiva para la separación de los cuerpos de agua la componente intensidad de la transformación cromática IHS.

La cartografía geomorfológica editada permite obtener información espacial de los complejos de formas del relieve, cuyos límites se refieren a situaciones normales capturadas en las imágenes satelitales. Los procesos geomórficos se registraron en el marco de la generalización.

**Palabras clave:** Llanura pampeana; Comportamiento hidrológico; Manejo sustentable; Modelo digital; Morfometría; Cartografía.

**Abstract.** - *Geomorphologic study of the Del Chañar lagoon watershed (Santa Fe and Buenos Aires provinces), Argentina.* The study area (9137.4 km<sup>2</sup>) spreads on part of south Santa Fe Province and part of north Buenos Aires Province, east-central Argentina, bounded by west longitudes 62°14'42" & 61°25'03" and south latitudes 33°33'05" & 34°36'47" (WGS84). This area is characterized by very low relief amplitude and belongs to the Pampean plain, mostly in the subunit denominated "Pampa of the Lagoons" by geographers and "Depressed Pampa" by geologists.

The objective of the present paper is to report the results of the study of the hydrologic, hydraulic and environmental behaviours of the Del Chañar lagoon watershed, attending to the future sustainable management of its hydrologic resources. Therefore, elaboration of the geomorphologic cartography was the fundamental axis of the work, associated with an important development of the morphometry. The criterion developed in the ITC of The Netherlands was used for the production of the cartography, adopting a 1:100.000 scale in correspondence with the projects at technical feasibility. The terrain digital models developed were very useful to provide relevant information. The mosaics of Landsat 7 images processed were the iconic base of several models used for visual interpretation, being the intensity component of its IHS chromatic transform very effective for the separation of the water bodies.

The edited geomorphologic cartography enables the obtention of spatial information of the relief forms complexes, whose limits are referred to normal situations captured by the satellite images. The geomorphic processes were recorded in the frame of the generalization.

**Key-words:** Pampean Plain, Hydrologic behaviour; Sustainable management; Digital model; Morphometry; Cartography.

Juan M.G. Racca [racca@fceia.unr.edu.ar]: *Instituto de Fisiografía y Geología y Departamento de Ciencias Geológicas. FCEIA. Universidad Nacional de Rosario. Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina.*  
Carlos A. Canoba: [carloscanoba@gmail.com]: *Buenos Aires 1465, 2000 Rosario, Argentina.*

Recibido: 06/08/2014; aceptado: 02/11/2014

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio presenta una escasa diferenciación de su relieve, que es causa y efecto de la morfogénesis actual. Estos aspectos han sido poco estudiados anteriormente en el área de referencia. Su relieve es el resultado de una morfogénesis pasada (clima semiárido) donde tiene lugar la evolución morfogenética reciente y actual con clima templado húmedo. Según Tricart (1973) la morfogénesis y el manejo de las tierras son consecuencia directa de la insuficiente pendiente general de la región y no del clima. Por tanto la abundancia de las precipitaciones provoca la aparición de extensas superficies inundadas por un manto de agua de muy lento escurrimiento.

El adecuado conocimiento del área para lograr soluciones técnicas tendientes al manejo sustentable de los recursos hídricos del área condujo a la realización del presente estudio geomorfológico, como parte en un estudio integral de las cuencas hídricas que lleva a cabo el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas INCYTH. Cabe señalar que el área de trabajo está atravesada por el límite interprovincial Santa Fe-Buenos Aires, por lo cual los volúmenes de agua excedentes que se generan en estas cuencas tienden a evacuarse en periodos de precipitaciones excepcionales hacia la cuenca del río Salado de la provincia de Buenos Aires. En consecuencia, el escurrimiento natural y el condicionado por las obras de ingeniería en el área tienen connotaciones de índoles político-administrativas y sociales influidas por el manejo de los recursos hídricos.

El objetivo de este informe es presentar resultados obtenidos en el mencionado estudio, relativos a la geomorfología de la zona de la cuenca de la laguna Del Chañar (Fig. 1). Dicho estudio fue diseñado para producir un conocimiento fisiográfico más amplio del área, en relación con el análisis del comportamiento hidrológico, hidráulico y ambiental para llegar a producir un manejo sustentable de sus recursos hídricos. Los principales resultados consisten en la elaboración -en el nivel de prefactibilidad técnica- de información geomorfológica en el orden de la escala 1:100000, sobre las características del paisaje en el área de estudio y en particular sobre el sistema de escurrimiento hídrico superficial (natural y condicionado antrópicamente) que se desarrolla sobre cada unidad componente de la cuenca.

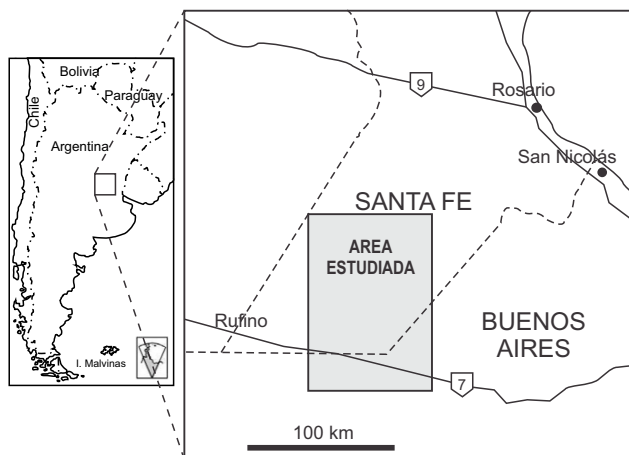


Figura 1. Localización del área estudiada.

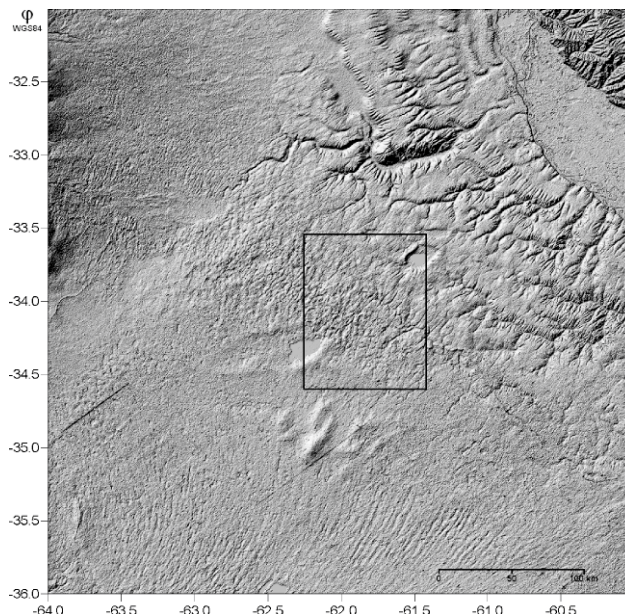
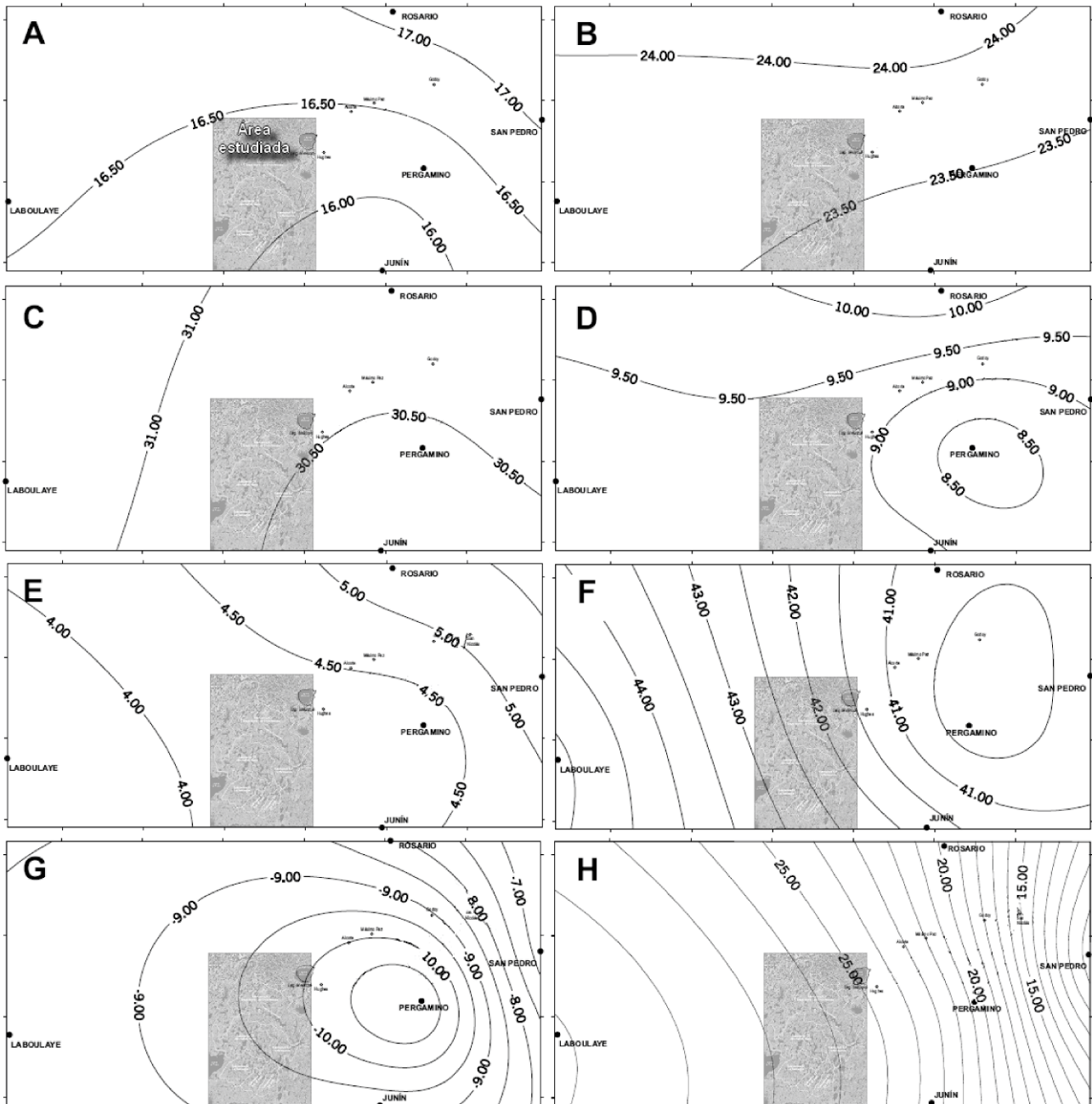


Figura 2. Relieve pseudoplástico sombreado de un amplio sector de la llanura pampeana. El rectángulo delineado corresponde al área de estudio. De NE a SW: Lomadas entrerrianas – Delta del río Paraná – Pampa ondulada (levantada) – Pampa de las lagunas (deprimida) – Pampa Pedemontana (elevada). En el Sur (NW de la Provincia de Buenos Aires) megadunas, cubetas y corredores de deflación (relieve eólico). Puede apreciarse en el modelo cómo se integra al Río Salado de la Provincia de Buenos Aires el escurrimiento de la cuenca de la laguna Del Chañar, vía la laguna Mar Chiquita y otras al sur, en periodos húmedos. Obtenido en base a un mosaico de 16 modelos de elevación SRTM. Coordenadas anotadas: latitud y longitud geodésicas WGS84.

## REGIÓN ESTUDIADA Y METODOLOGÍA

Desde hace más de sesenta años se realizan en el Instituto de Fisiografía y Geología “Dr. Alfredo Castellanos” estudios fisiográficos en la región sur y centro-sur de la Provincia Santa Fe, en particular referidos a sus cuencas hidrográficas. Estas investigaciones comenzaron a desarrollarse por Pierina Pasotti y sus discípulos generando un programa que ya ha producido gran cantidad de información, resultados e informes publicados, citados en parte en Parent & Peralta (2010): Arroyo Cañada de Gómez (Pasotti 1964), Arroyo Pavón (Pasotti 1971, Pasotti et al. 1993), Laguna Melincué (Pasotti et al. 1984), Río Carcarañá (Pasotti & Albert 1991, 1995), Arroyo Ludueña (Pasotti et al. 1981), Arroyo San Lorenzo (Racca 1981) y Arroyo del Medio (Racca 2010). Con el presente estudio termina de cubrirse casi por completo el sur de la Provincia de Santa Fe.

La zona investigada (Fig. 1) comprende a la cuenca de aportes hídricos a la Laguna Del Chañar, involucrando el área activada por el Canal Alternativa Norte, el área de la subcuenca La Salamanca, el área de Estancia El Indio y el área de las lagunas Encadenadas, así como toda otra área de aporte natural a la laguna Del Chañar. La totalidad del área (9137.4 km<sup>2</sup>) queda dentro de un marco casi rectangular, que al Norte tiene una línea latitudinal que pasa en las inmediaciones septentrionales de la laguna Melincué y de la ciudad de Venado Tuerto (33°40'S). Al Este se encuadra por una línea meridional que corre por el borde oriental de la propia laguna Melincué (61°30'W). Como límite Sur una línea latitudinal que corre por las inmediaciones del sur de la laguna Mar Chiquita (34°30'S). Finalmente como límite al Oeste una línea meridional que



**Figura 3.** Caracterización climática del área de la cuenca de la laguna Del Chañar: Régimen térmico (valores de las isotermas en Celsius). A: Isotermas medias anuales. B: Isotermas medias de Enero. C: Isotermas medias de Julio. D: Isotermas máximas medias de Enero. E: Isotermas mínimas medias de Julio. F: Isotermas máximas absolutas. G: Isotermas mínimas absolutas. H: Número medio anual de heladas en abrigo.

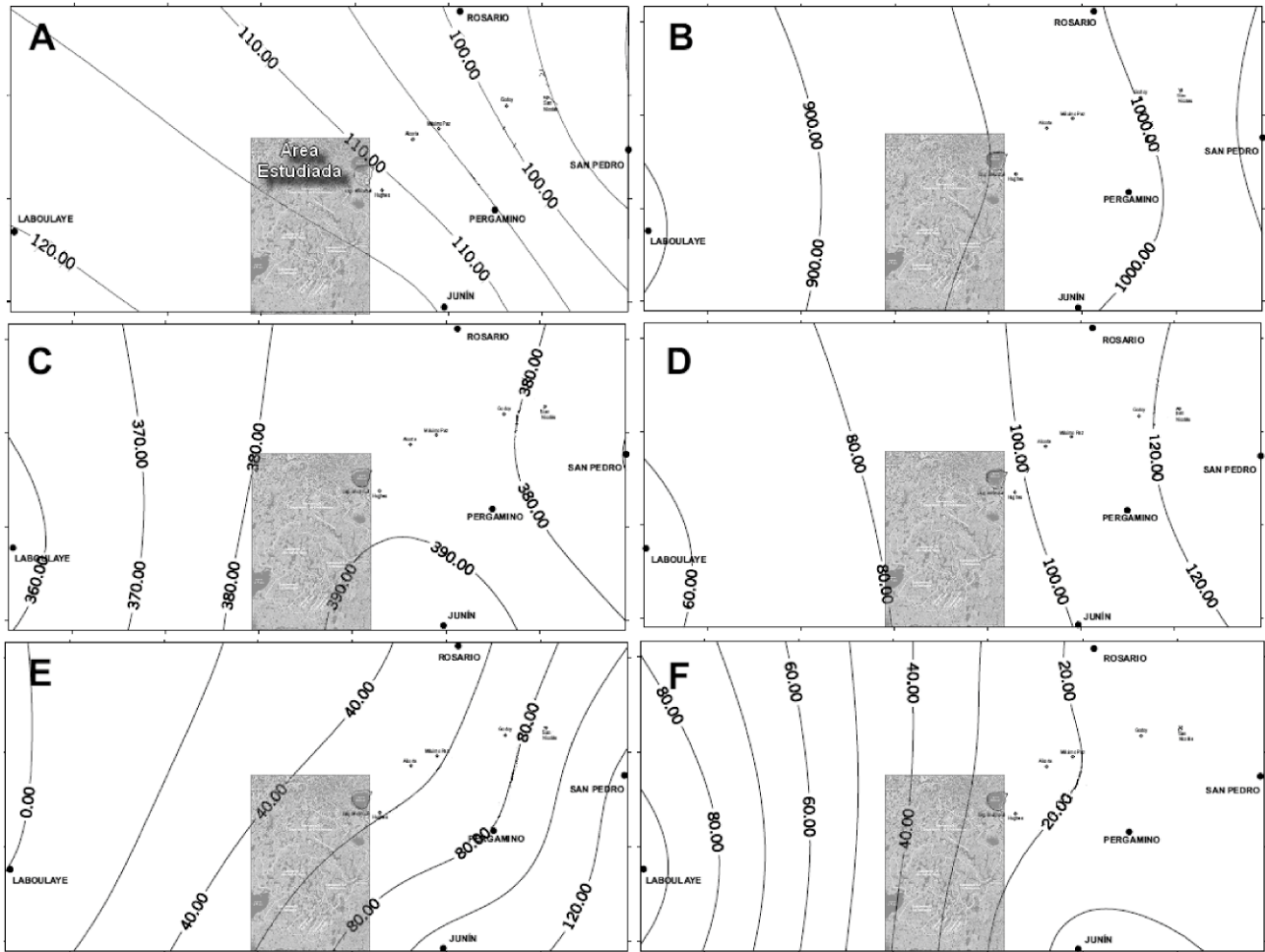
incluye la porción oriental de la laguna La Picasa (62°15'W). Las altitudes máximas corresponden a 122.5 m y las mínimas a las cotas 82.5 m.

Se determinaron los elementos que aporta la Geomorfología vinculados a los procesos hidrológicos actuales y los proyectos de obras de ingeniería. Durante los trabajos de campo se practicó un detallado registro fotográfico de elementos y rasgos en el área de estudio (Ap. 1). A partir de los datos de base y de su procesamiento se obtuvieron productos digitales que se organizaron en un sistema de información geográfica, compuesto por 26 temas separados en dos vistas, cuyas capas temáticas fueron empleadas en la elaboración de los modelos relacionados con la geomorfología del área. Los resultados se presentan en la forma de productos cartográficos y de otros modelos, siendo el de mayor relevancia

la carta geomorfológica a escala 1:100.000. Se procesaron y/o desarrollaron modelos básicos y combinados, tales como un mosaico de imágenes del satélite Landsat 7 en pseudo color normal, un modelo digital de elevaciones y sus derivados de características de las pendientes basados en las cartas topográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar, Argentina), un modelo digital de elevaciones SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y sus derivados de características de las pendientes, además de otros modelos morfométricos de utilidad en estudios ulteriores.

La cartografía geomorfológica fue realizada según las pautas de mapeo desarrolladas en el ITC de Holanda (Van Zuidam 1985/1986, Verstappen & Van Zuidam 1975, Verstappen & Van Zuidam 1991) y con énfasis en los rasgos morfométricos.





**Figura 4.** Caracterización climática del área de la cuenca de la laguna Del Chañar: Régimen de precipitaciones. A: Período de heladas. B: Precipitaciones anuales. C: Precipitaciones del trimestre húmedo. D: Precipitaciones del trimestre seco. E: Exceso anual de agua. F: Deficiencia anual de agua.

### RASGOS FISIAGRÁFICOS GENERALES

El área estudiada pertenece a la Llanura Pampeana, que posee baja amplitud de relieve y con pendientes muy poco marcadas (Pasotti 1974, Pasotti & Canoba 1979 a, b). Su extensión es del orden de 800 km de Norte a Sur y unos 200 km en sentido Oeste-Este (a la latitud de la ciudad de Rosario) desde el pie oriental de las Sierras de Córdoba hasta la barranca del Río Paraná. En esta extensa cuenca sedimentaria subsidente, cuyo zócalo soportó movimientos amplios sinusoidales de gran radio de curvatura, se generaron tres grandes bloques que corresponden a la Pampa Pedemontana o Elevada, a la Pampa de las Lagunas o Deprimida y a la Pampa Ondulada o Levantada, respondiendo cada nombre a rasgos relevantes y contrastantes que marcan diferencias morfológicas y tectónicas entre cada unidad (Pasotti & Castellanos 1963).

La Fig. 2 muestra el relieve pseudoplástico sombreado de un amplio sector de la llanura pampeana elaborado a partir de un mosaico de modelos digitales de elevación SRTM. En dicha composición pueden apreciarse los rasgos geomorfológicos e hidrológicos más destacados de la región estudiada, la cual se encuentra localizada en su casi totalidad en la Pampa Deprimida o Pampa de las Lagunas y una pequeña parte del sector ubicado al NE del Sistema de Las Encadenadas que corresponde a la geofractura que separa a la Pampa Deprimida de la Pampa Ondulada (Pasotti 1974, Pasotti & Canoba 1979a,

b). Esta geofractura se manifiesta en superficie como una franja de rumbo NW-SE de pocos kilómetros de ancho, de marcada horizontalidad y que es a la vez una divisoria de aguas. Los rasgos topográficos de la Pampa deprimida son en gran parte consecuencia de su estructura geológica, atento a que este relieve tan llano coincide con una fosa de hundimiento y en superficie con rocas de baja resistencia mecánica y buena capacidad de infiltración (Tricart 1973). Si se consideran además las características climáticas, se tiene que la dinámica hídrica presenta un predominio marcado de la transferencia vertical (infiltración-evaporación) sobre la horizontal (principalmente escurrimiento laminar), en especial para las épocas de lluvias medias y más aún durante los periodos de sequía (Taboada et al. 2012; Figs. 3-4 este informe).

A nivel regional las pendientes del terreno tan poco marcadas dificultan el escurrimiento, y dado el actual clima húmedo, con 800-1000 mm anuales de precipitación, la hidrografía no se organiza según una red vinculada con estas características climáticas, tal como ocurre en las redes integradas y exorreicas de los cauces en la Pampa levantada. La hidrografía de base en la zona de estudio presenta aspectos de escurrimiento de un clima semiárido, por lo que se producen extensas lagunas de aguas estancadas, la mayoría de las cuales no tienen emisario y así constituyen una red de tipo endorreico. Gran parte del agua de lluvias se infiltra en el suelo y se acumula evaporándose, por lo que no se forma un



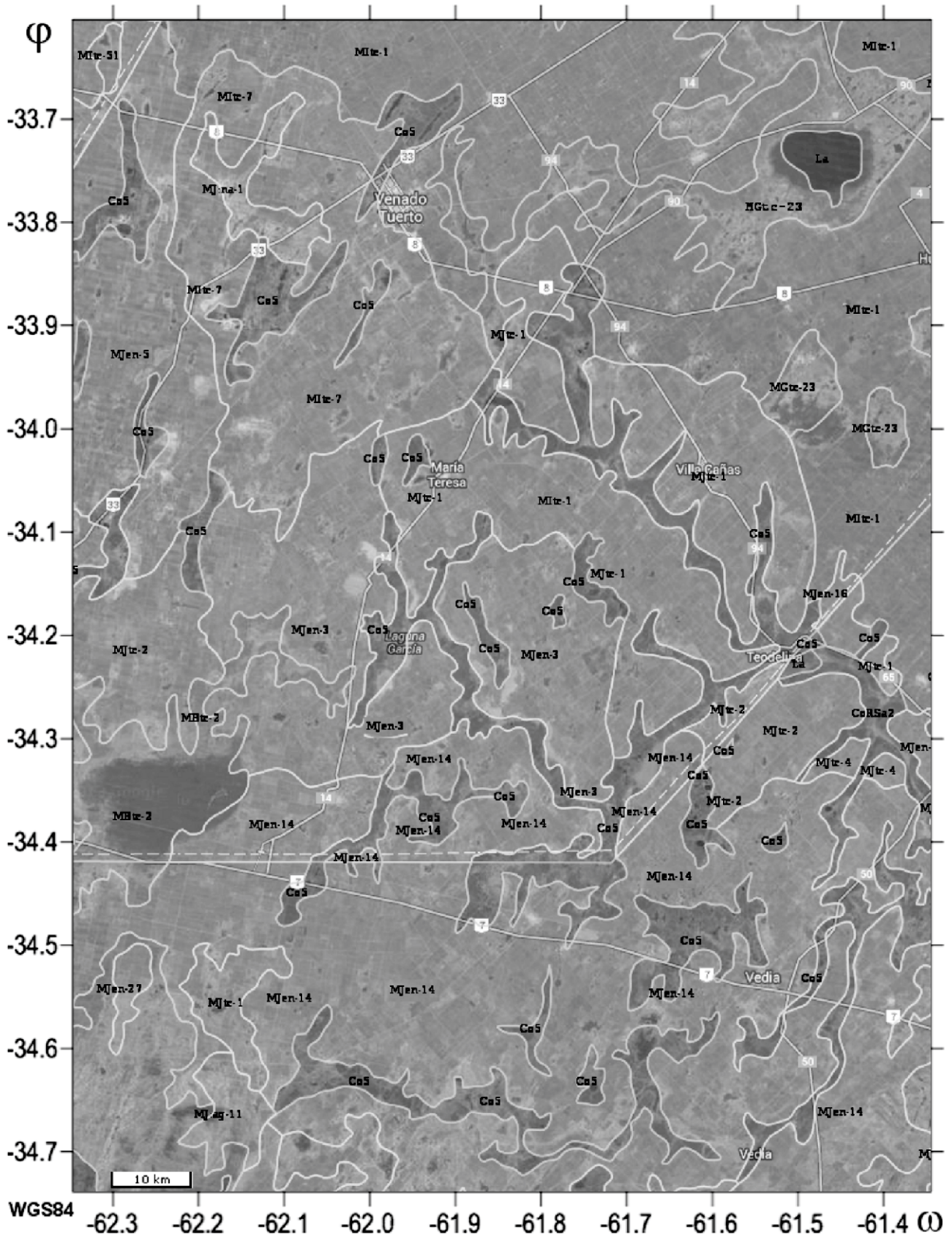


Figura 5. Carta de suelos de un área que incluye a la cuenca de la laguna Del Chañar. Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina. Coordenadas anotadas: latitud y longitud geodésicas WGS84. Referencias en Tabla 1.

Tabla 1. Referencias de la carta de suelos en Figura 5.

Atributo	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Símbolo Cartográfico	MGtc-23	Mtc-1	Mtc-1	Mtc-2	Co5	MJen-3	MJen-5	MJen-14
Tipo unidad cartográfica	Complejo	Consociacion	Consociacion	Consociacion	Complejo indifere	Consociacion	Asociacion	Asociacion
Límitante Principal	Suscep inund o anega	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Suscep eros eolica	Suscep inund o anega	Erosion eolica actua	Baja retenc humedad	Suscep eros eolica
Límitante Secundario	Alcalin menos 50cm	-	-	-	Salin en 1ros 50cm	-	Erosion eolica actua	-
Límitante Terciaria	-	-	-	-	Alcalin menos 50cm	-	-	-
Índice Prouctividad	33	95	86	68	10	60	72	60
% Suelo Principal	35	45	100	100	100	100	80	60
Posición Suelo Principal	Planicie	Ladera media	Terraza alta	Loma plana	Vía de escurrimiento	Planicie	Cubetas	Loma
Orden Suelo Principal	Molisoles	Molisoles	Molisoles	Molisoles	Complejo indiferenci	Molisoles	Molisoles	Molisoles
Gran Grupo Suelo Principal	Natracuoles	Argiudoles	Hapludoles	Hapludoles	Complejo indiferenciado	Hapludoles	Hapludoles	Hapludoles
Subgrupo Suelo Principal	Natracuoles tipico	Argiudoles tipico	Hapludoles tipico	Hapludoles tipico	No Clasificado xx	Hapludoles entico	Hapludoles entico	Hapludoles entico
Textura Superficial Suelo P...	Franco limosa	Franco limosa	Franco arenosa	Franco arenosa	No determinada	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa
Textura Subsuperficial Su...	Franco arcillo limos	Arcillo limosa	Franco arenosa	Franco arenosa	No determinada	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa
Drenaje Suelo Principal	Pobre	Bien drenado	Bien drenado	Bien drenado	-	Algo Excesivo	Algo Excesivo	Bien drenado
Profundidad Suelo Principal	150	200	200	200	0	200	200	100
Alcalinidad Suelo Principal	Debil	No sodico	No sodico	No sodico	Mod.a fuerte	No sodico	No sodico	No sodico
Pendiente (%)	0	1	1	1	0	1	1	1
Riesgo Erosión Hídrica Su...	-	-	-	-	-	-	-	-
Riesgo Erosión Eólica Suel...	-	-	-	-	-	Ligera	Ligera	Moderada
Rocosisad/Pedregosidad ...	-	-	-	-	-	-	-	-
Riesgo de Anegamiento S...	-	-	-	-	-	-	-	-
% Suelo Secundario	35	35	0	0	0	0	2	40
Posición Suelo Secundario	Planicie	Ladera media					Cubetas	Planicie
Orden Suelo Secundario	Alfisoles	Molisoles					Molisoles	Molisoles
Gran Grupo Suelo Secund...	Natracaufes	Argiudoles					Hapludoles	Hapludoles
Subgrupo Suelo Secundario	Natracaufes tipico	Argiudoles acuico					Hapludoles tipico	Hapludoles tapto argico
% Suelo Terciario	30	20	0	0	0	0	0	0
Posición Suelo Terciario	Planicie	Ladera media						
Orden Suelo Terciario	Molisoles	Molisoles						
Gran Grupo Suelo Terciario	Argiudoles	Argialboles						
Subgrupo Suelo Terciario	Argiudoles acuico	Argialboles tipico						

Atributo	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Símbolo Cartográfico	MJen-16	MJen-27	L	MEtc-2	MJna-1	MJna-2	MJna-10	MJag-11
Tipo unidad cartográfica	Asociacion	Asociacion	Agua	Asociacion	Asociacion	Asociacion	Complejo	Asociacion
Límitante Principal	Suscep eros eolica	Suscep eros hidrica	No apto agricultura	Suscep inund o anega	Alcalin menos 50cm	Alcalin menos 50cm	Alcalin menos 50cm	Drenaje deficiente
Límitante Secundario	-	Baja retenc humedad	No apto agricultura	Alcalin menos 50cm	-	Drenaje deficiente	Drenaje deficiente	Suscep eros eolica
Límitante Terciaria	-	-	No apto agricultura	-	-	-	-	-
Índice Prouctividad	58	72	0	30	50	27	33	52
% Suelo Principal	50	50	100	35	70	60	70	50
Posición Suelo Principal	Lomas altas	Loma	Lago/Laguna	Cubetas	Planicie	Ladera empinada	Ladera empinada	Planicie
Orden Suelo Principal	Molisoles	Molisoles	Lagunas	Molisoles	Molisoles	Molisoles	Molisoles	Molisoles
Gran Grupo Suelo Principal	Hapludoles	Hapludoles	Lagunas	Natralboles	Hapludoles	Hapludoles	Hapludoles	Hapludoles
Subgrupo Suelo Principal	Hapludoles entico	Hapludoles entico	No Clasificado xx	Natralboles tipico	Hapludoles tapto natrico	Hapludoles tapto natrico	Hapludoles tapto natrico	Hapludoles tapto argico
Textura Superficial Suelo P...	Franco arenosa	Franco arenosa	No determinada	Franco limosa	Franca	Franca	Franca	Franca
Textura Subsuperficial Su...	Franco arenosa	Franco arenosa	No determinada	Franco arcillo limos	Franca	Franca	Franca	Franco arcillosa
Drenaje Suelo Principal	Algo Excesivo	Bien drenado	-	Pobre	Moderado	Moderado	Moderado	Bien drenado
Profundidad Suelo Principal	200	100	0	200	200	200	200	120
Alcalinidad Suelo Principal	No sodico	No sodico	-	Debil	Moderada	Moderada	Moderada	No sodico
Pendiente (%)	1	1	0	1	0	0	0	0
Riesgo Erosión Hídrica Su...	-	-	-	-	-	-	-	-
Riesgo Erosión Eólica Suel...	Ligera	Moderada	-	-	-	-	-	-
Rocosisad/Pedregosidad ...	-	-	-	-	-	-	-	-
Riesgo de Anegamiento S...	-	-	-	-	-	-	-	-
% Suelo Secundario	50	30	0	35	30	40	30	30
Posición Suelo Secundario	Sectores planos	Planicie		Cubetas	Bajos	Ladera empinada	Ladera empinada	Loma
Orden Suelo Secundario	Molisoles	Molisoles		Molisoles	Molisoles	Molisoles	Alfisoles	Molisoles
Gran Grupo Suelo Secund...	Hapludoles	Hapludoles		Argiudoles	Natralboles	Natralboles	Natracaufes	Hapludoles
Subgrupo Suelo Secundario	Hapludoles tipico	Hapludoles tapto argico		Argiudoles acuico	Natralboles tipico	Natralboles tipico	Natracaufes tipico	Hapludoles entico
% Suelo Terciario	0	20	0	30	0	0	0	20
Posición Suelo Terciario		Loma		Cubetas				Pendiente
Orden Suelo Terciario		Molisoles		Alfisoles				Molisoles
Gran Grupo Suelo Terciario		Hapludoles		Natracaufes				Hapludoles
Subgrupo Suelo Terciario		Hapludoles tipico		Natracaufes tipico				Hapludoles tipico



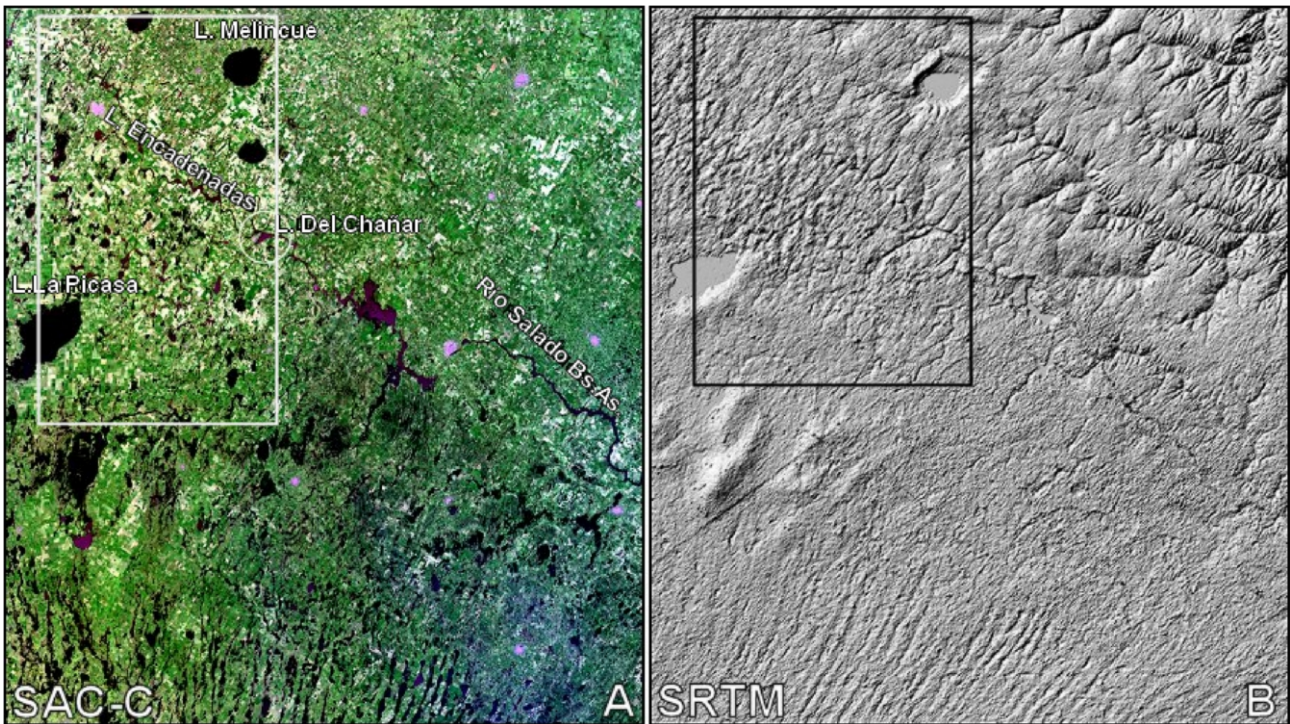


Figura 6. Modelos de un área algo mayor que la de estudio, que muestran sus aspectos regionales, en particular los vinculados con la Provincia de Buenos Aires. A: Imagen SAC-C reducida. B: Relieve SRTMseudoplástico sombreado.

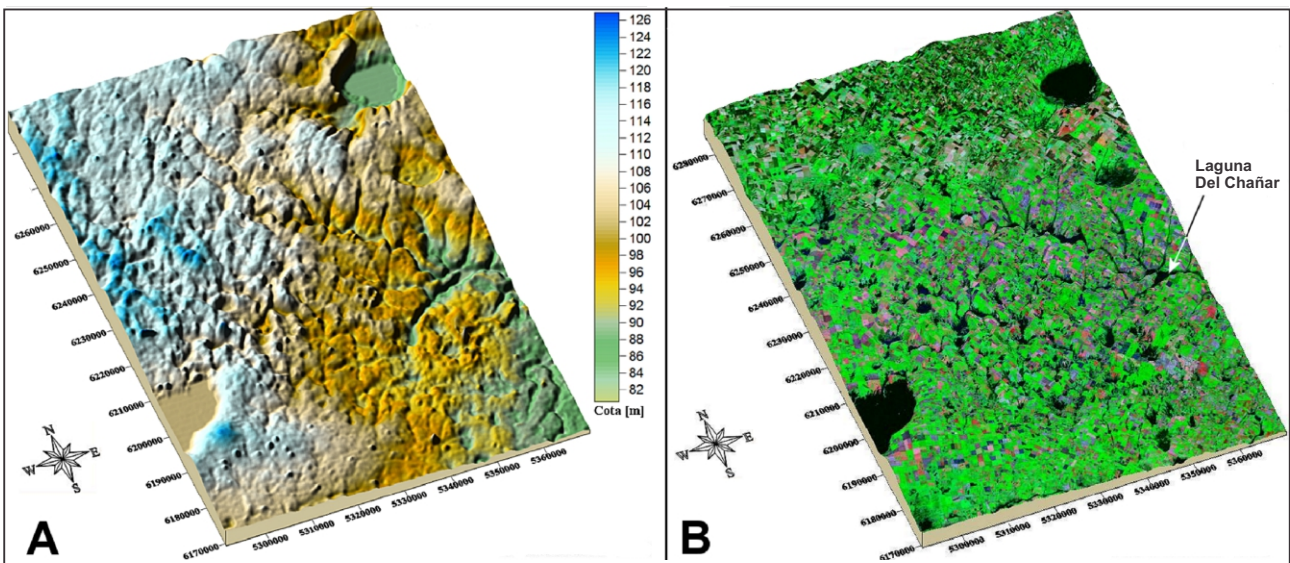


Figura 7. Modelos perspectivas ortográficos del relieve SRTM del área de la cuenca de la Laguna del Chañar. Exageración vertical x200. A: Relieve pseudoplástico sombreado combinado con codificación cromática de las elevaciones. Planimetría, coordenadas Gauss-Krüger WGS 84. Altimetría, mosaico MDE SRTM Geoide EGM 96. B: El mismo modelo, vestido con imagen Landsat en seudo color normal. Imágenes Landsat ETM+, coordenadas Gauss-Krüger WGS 84. Altimetría, mosaico MDE SRTM Geoide EGM 96.

escurrimiento superficial integrado en su totalidad. Por tanto, los aspectos morfogenéticos actuales y el manejo de tierras y suelos están directamente ligados con la insuficiencia de las pendientes regionales y no con el clima. El mecanismo natural de evacuación de las aguas de lluvia es la infiltración- evapotranspiración.

Las formas del relieve más evidentes son los depósitos eólicos (relieves loésicos, médanos y cordones) de los cuales los mayores pueden alcanzar desniveles de unos 5 y hasta 10 m de altura relativa y pueden presentar suaves ondulaciones con pendientes del 1 % y hasta el 5 %. Son notorias las depresiones (cubetas de deflación), geofomas que permiten la formación

de gran número de lagunas. Este paleomodelo, originado en el Pleistoceno tardío, constituyó según Iriondo & Krohling (1995) un “gran mar de arena” que cubrió vastas extensiones de la llanura.

Estos rasgos del relieve influyen sobre los aspectos morfodinámicos y otorgan a la hidrografía sus características de adaptación a un modelo semiárido producto de oscilaciones climáticas en el Cuaternario. En consecuencia se tienen áreas de drenaje endorreico y arreico. Cuando se producen lluvias excepcionales se suceden inundaciones de extensas superficies por un manto de agua de lento escurrimiento. En la zona se tiene una densa red de vías de comunicación (campos rurales,





Figura 8. Cordón eólico de 5 km de largo y 250 m de ancho indicado por la flecha.

rutas y ferrocarriles), cuyas obras de arte (badenes, caños, tajeas, alcantarillas, puentes, entre otras) afectan el escurrimiento superficial a la vez que son afectados por el mismo. Existen además canalizaciones ejecutadas por entes oficiales y también de carácter clandestino realizadas por particulares (zanjas y bordes) que influyen sobre el escurrimiento y el comportamiento de la capa freática.

La zona presenta un clima templado sin estación fría (De Martonne 1968), con lluvias suficientes para el uso agrícola, con precipitaciones más abundantes en el verano y mínimas en el invierno, destacándose un pico otoñal (mes de Marzo), a partir del cual se produce la recarga del agua del suelo. El balance hídrico puede considerarse positivo a nivel anual, y no presenta deficiencias a nivel mensual, aunque existe consumo de agua del suelo en el período estival. Los suelos del área se consideran de buen potencial agropecuario; en los sectores altos se tienen los más aptos para la agricultura (soja, trigo, maíz) y en los bajos se practica la ganadería.

En las Figs. 3-4 se muestra un resumen de aspectos del clima en un área que incluye a la de estudio, basado en Sacchi (2010) y Garreaud et al. (2009), adaptado a la localización del presente caso. En la Fig. 5 se presenta una carta generalizada de suelos de un área que incluye la cuenca de la laguna Del Chañar.

## GEOMORFOLOGÍA

Los estudios de geomorfología aplicados a las redes fluviales son importantes para el análisis de las cuencas hidrográficas, en particular los aspectos morfométricos y ambientales. La

descripción y evaluación del ambiente en el que circulan las aguas, especialmente valiosas cuando los datos disponibles son escasos, son de gran importancia para que los hidrólogos puedan tomar decisiones apropiadas. Puede considerarse que la hidrología es en buena medida la resultante del efecto combinado del clima, las geoformas, la geología, los suelos y la vegetación sobre el régimen natural de las aguas, agregando el efecto que provoca el accionar del hombre en el balance hídrico.

En el extremo NW del área de estudio las cotas máximas se acercan a los 120 m mientras que en NE, son de 100 m, lo que significa 20 m de desnivel para una distancia aproximada de 70 km y una pendiente media en esa dirección de 0.29 ‰. El área puede considerarse como un enorme plano. Los rasgos del paleomodelo de depósitos eólicos sobresalen de la planicie como máximo 10 m y las pequeñas variaciones de altura son suficientes para modificar el escurrimiento hídrico.

Los cambios climáticos del Cuaternario y las oscilaciones del nivel marino, han influido en la evolución morfogenética de la llanura pampeana. La alternancia de dos tipos de situaciones morfoclimáticas, la de los períodos húmedos y la de los períodos secos, son responsables de esa evolución; a ello hay que agregar que la neotectónica produjo el movimiento de los bloques del basamento durante el período en que se formaron los estratos denominados “Bonaerense” (sensu Castellanos 1962; Pleistoceno tardío-Holoceno temprano, Parent et al. 2010). Los problemas de escurrimiento hídrico actual que se presentan en la Pampa Deprimida, y en la zona de estudio en particular, están ligados a las citadas oscilaciones eustáticas y cambios climáticos. En el período húmedo actual hay un desarrollo pedogénico muy favorable (biostásico según

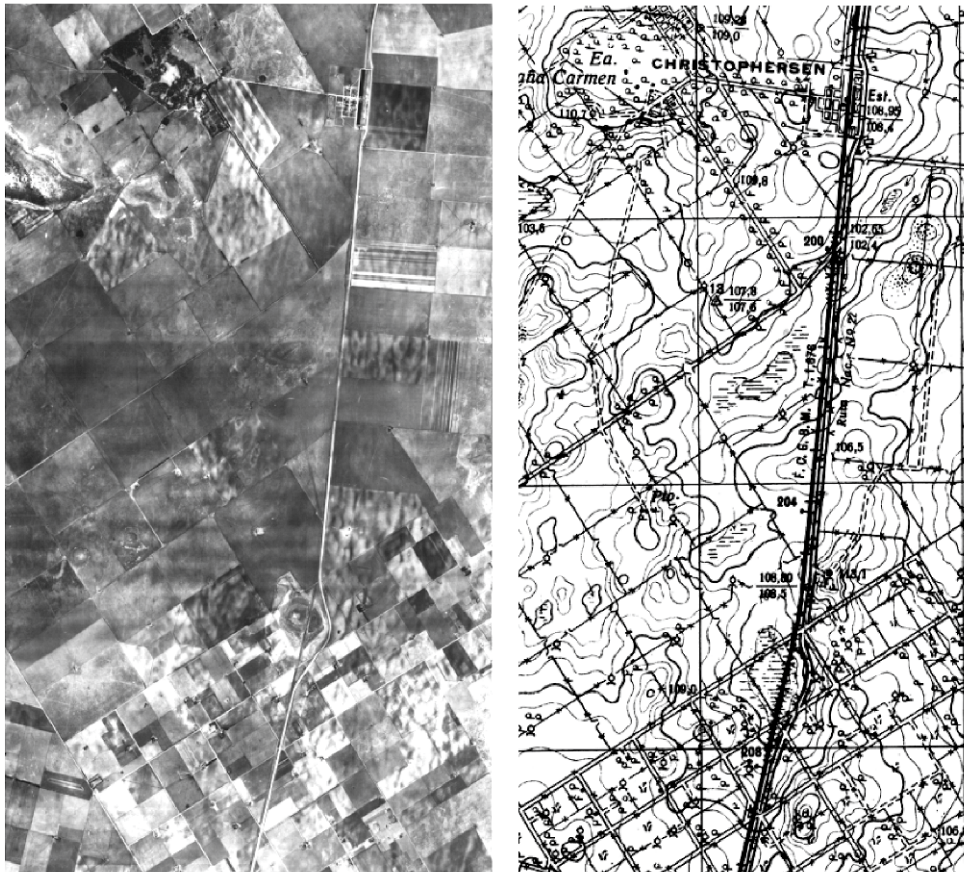


Figura 9. Médanos longitudinales alargados en las cercanías de Christophersen.

Erhart 1951) y el viento no produce erosión significativa dado que la cobertura vegetal es densa. El escurrimiento superficial actúa escasamente, a pesar de las precipitaciones abundantes. Existe una cierta tendencia a la organización de una red exorreica pero las escasas pendientes y los obstáculos que surgen de las geoformas eólicas lo dificultan.

La situación actual resulta favorable para la conservación de las unidades geomórficas antiguas, que en el área de estudio son de origen eólico vinculadas con períodos climáticos secos. En el sector SE del área de estudio, precisamente al SSW de la Laguna Del Chañar, el modelado eólico alcanza su mayor complejidad y, por tanto, es el que mayores dificultades presenta al escurrimiento superficial. En toda el área de estudio existen numerosas depresiones, la mayor parte de ellas excavadas por deflación durante los períodos secos del Cuaternario. El tamaño varía mucho, desde pequeñas de unos 100 m de diámetro (vinculadas a la succión de remolinos (Iriondo et al. 1995) hasta mayores de varios kilómetros de diámetro generalmente de formas irregulares. Estas depresiones no se presentan aisladas sino agrupadas y siendo numerosas, mientras que en otros sectores pueden ser escasas o estar totalmente ausentes. Algunas se presentan bordeadas por material eólico de una altura de 3 ó 4 m, siendo el borde nítido. Un ejemplo es el relacionado con la laguna La Picasa cuyo borde oriental es una lomada de 10 m de altura, con rumbo SW-NE de unos 25 km de largo y 6 km de ancho, con un estrechamiento central. Otras son de orillas suaves y contornos irregulares, poco definidos.

Se presentan depresiones que se transforman en charcas

circulares a causa de que la capa freática suele estar cerca de la superficie. La densidad de estas charcas es alta y en algunos casos están tan cercanas entre ellas, que en los mosaicos fotográficos muestran una textura con aspecto de “piel de viruela”. Por un fenómeno de coalescencia pueden permitir la formación de un estero o laguna. Sin embargo, en estos casos deben considerarse también otros procesos morfogenéticos denominados pseudokarst que pueden influir decisivamente. Esta denominación se debe a que la morfología es muy análoga a la del karst, que tiene lugar sobre rocas calcáreas y se desarrolla en un relieve de muy baja amplitud en las que pueden reconocerse analogías de pseudo-dolinas, pseudo-uvalas, hoyos de disolución y tubificaciones subterráneas (Popolizio 1984).

En la Fig. 6 se muestran reducciones de un sector de la imagen SAC-C y de aproximadamente el mismo sector del relieve pseudoplástico sombreado del modelo digital de elevaciones SRTM, que corresponden a un área algo mayor que la de estudio. El sistema cuenca de las lagunas Encadenadas/laguna Del Chañar, vía la laguna Mar Chiquita y otras al sur y las aguas de las áreas situadas al sureste de la laguna La Picasa, se integra al río Salado de la provincia de Buenos Aires en períodos húmedos.

En la Fig. 7 se presentan dos modelos perspectivas ortográficos del área de la cuenca de la laguna Del Chañar exagerados verticalmente y a escala muy reducida. El primero (Fig. 7A) muestra el relieve SRTM sombreado, combinado con codificación cromática de las elevaciones; el segundo (Fig. 7B) lo hace con la particularidad de estar “vestido” con una imagen satelitaria Landsat.





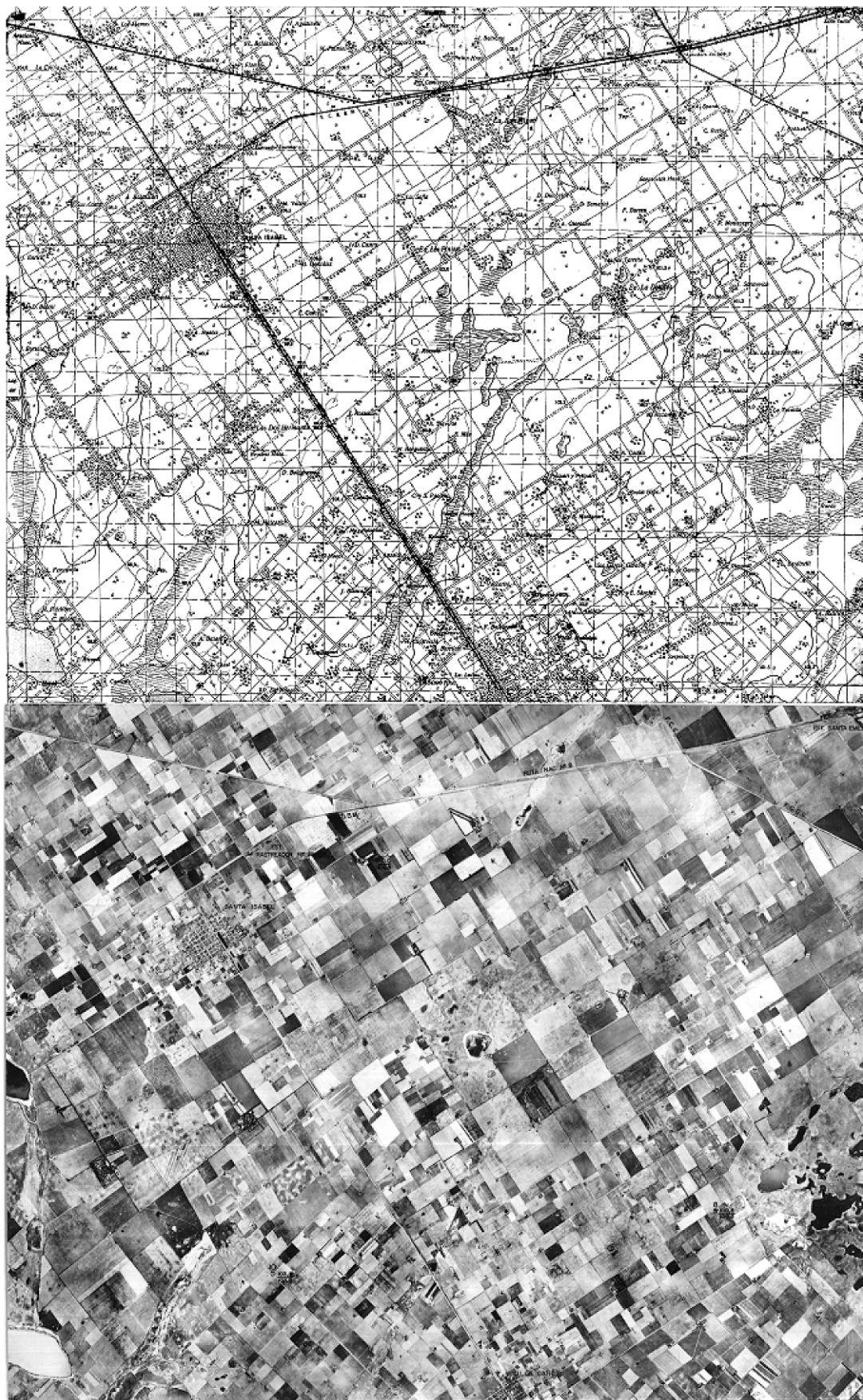
Figura 10. Médanos y lagunas en el área de Colonia Morgan.

En las Figs. 8-11 se presentan varios ejemplos de rasgos morfológicos e hidrológicos desarrollados en áreas clave, con un mayor nivel de detalle, extraídos de cartas topográficas del IGM y con sus correspondientes sectores de mosaicos aerofotográficos. Esta comparación muestra la necesaria complementariedad de ambos tipos de documentos para la realización de los estudios morfológicos e hidrológicos en el área y en general.

#### CUENCA Y SUBCUENCAS: DIVISIÓN EN UNIDADES HIDROLÓGICAS FUNCIONALES

El área de trabajo tiene una morfología bastante compleja. Ello se hace evidente desde el punto de vista hidrológico, donde la división en subcuencas es fundamental. Salvo la divisoria que separa por el NE el Sistema de las Encadenadas y, en alguna medida, la divisoria meridional que corre al sur de la Ruta Nacional 7 por la provincia de Buenos Aires (Fig. 1), la





**Figura 11.** Carta y mosaico fotográfico Santa Isabel. Variedad de formas eólicas de acumulación y deflación, lagunas, probables rasgos de pseudokarst y paleocañadas.



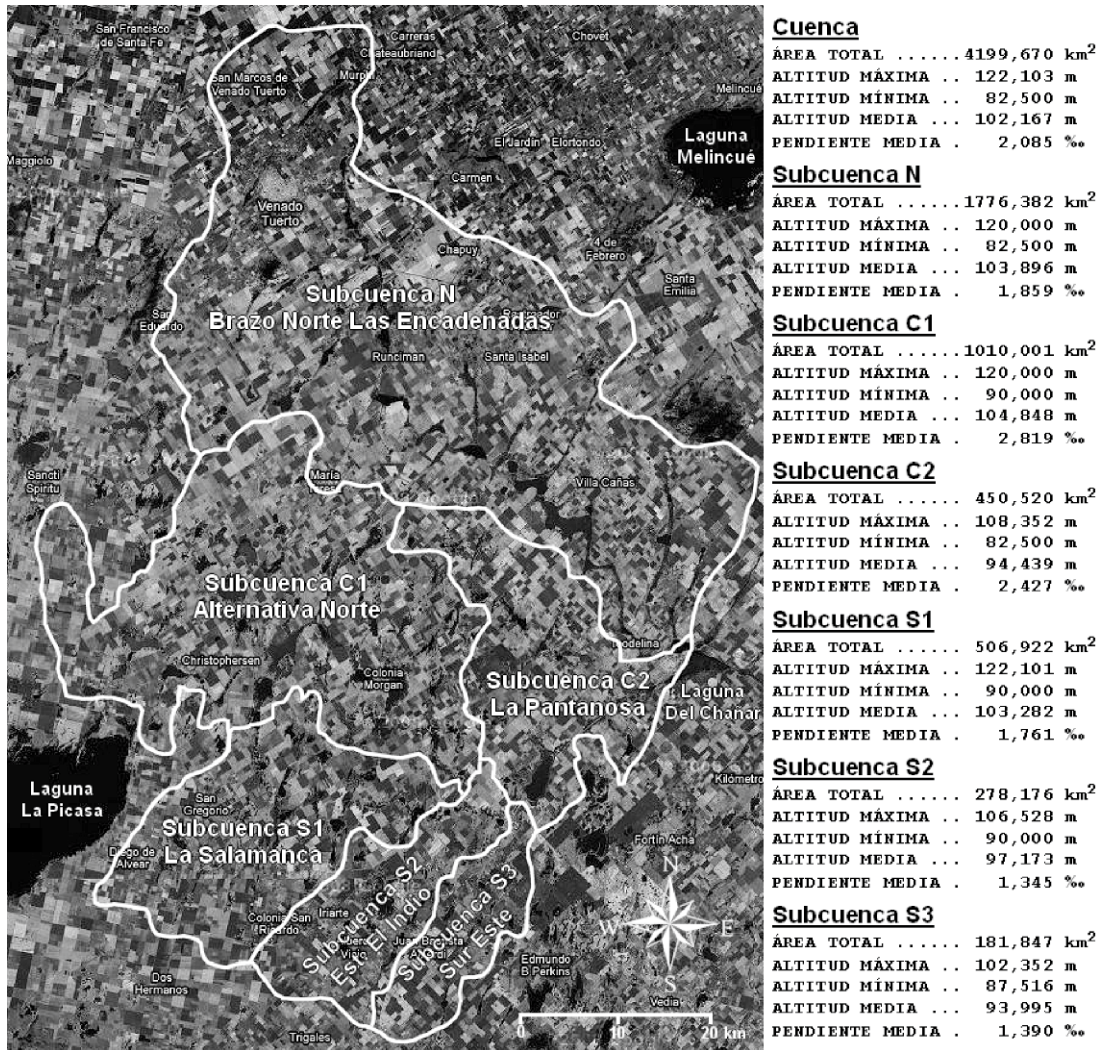


Figura 12. Divisorias de cuenca y subcuencas consideradas en este estudio.

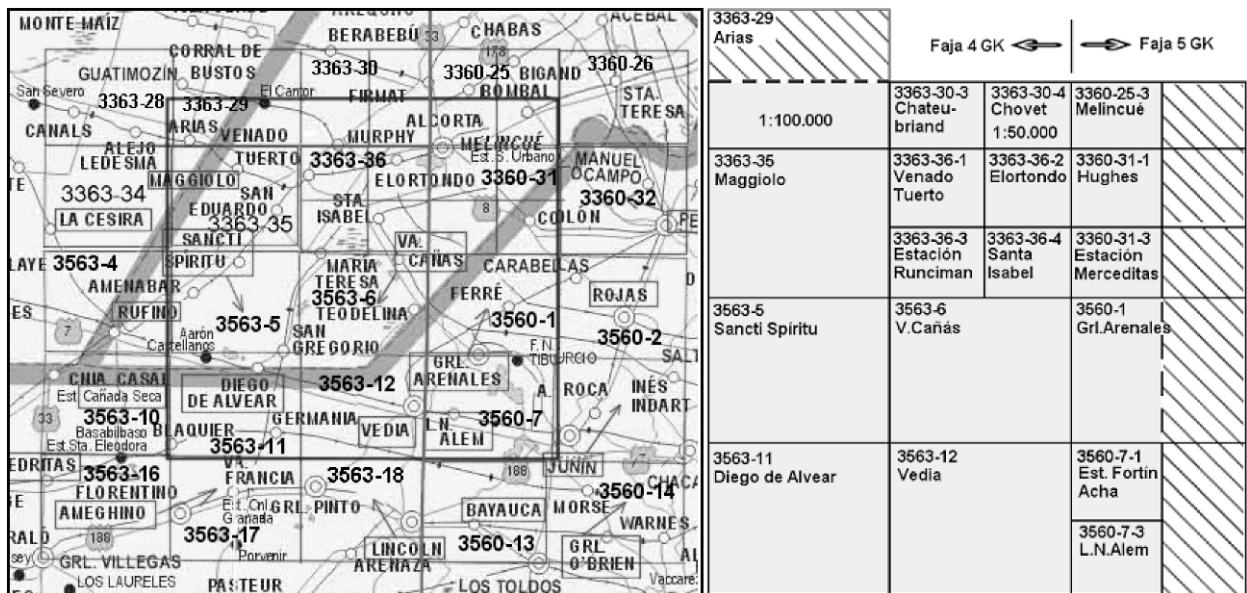


Figura 13. Cartas topográficas del IGM utilizadas en este estudio.

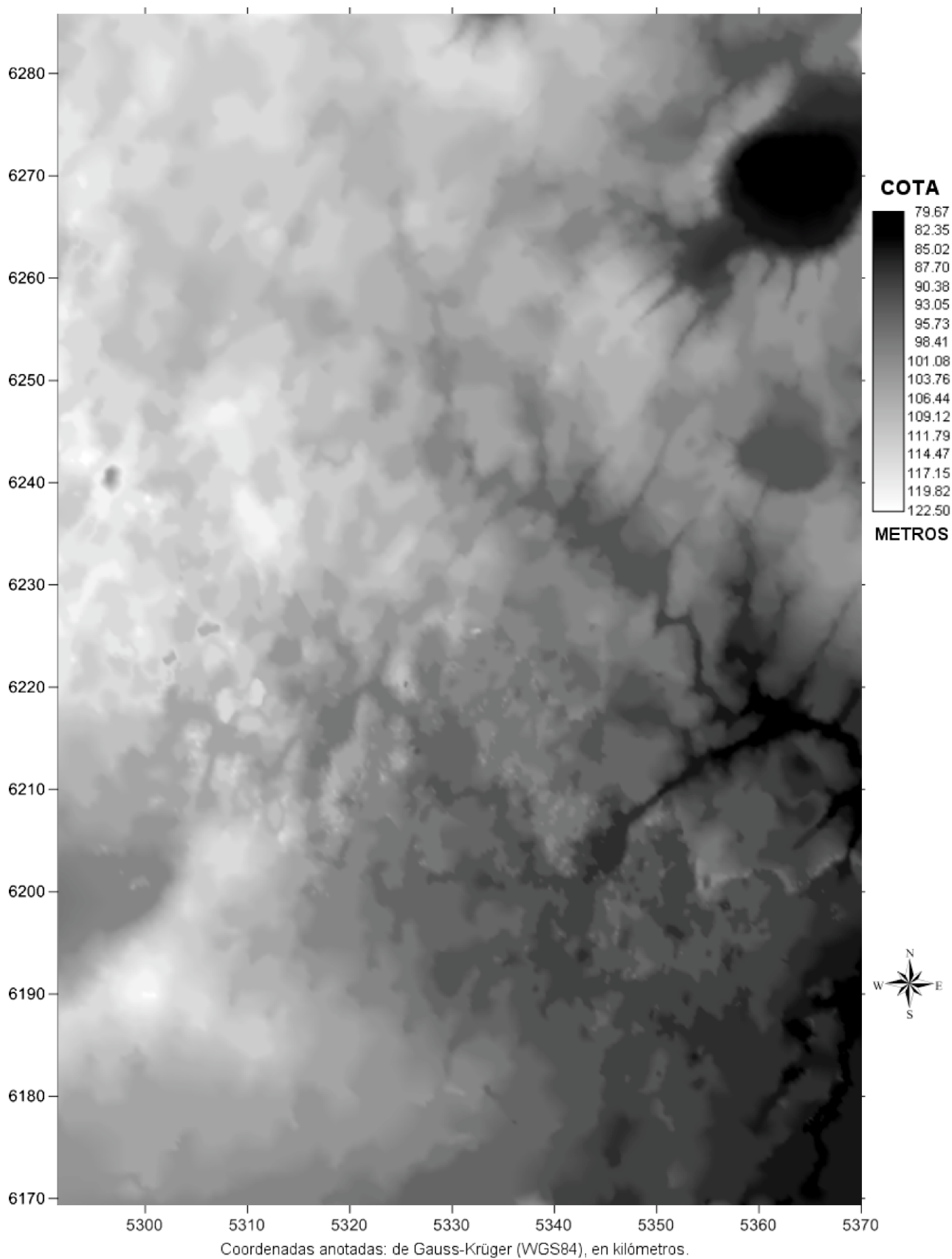
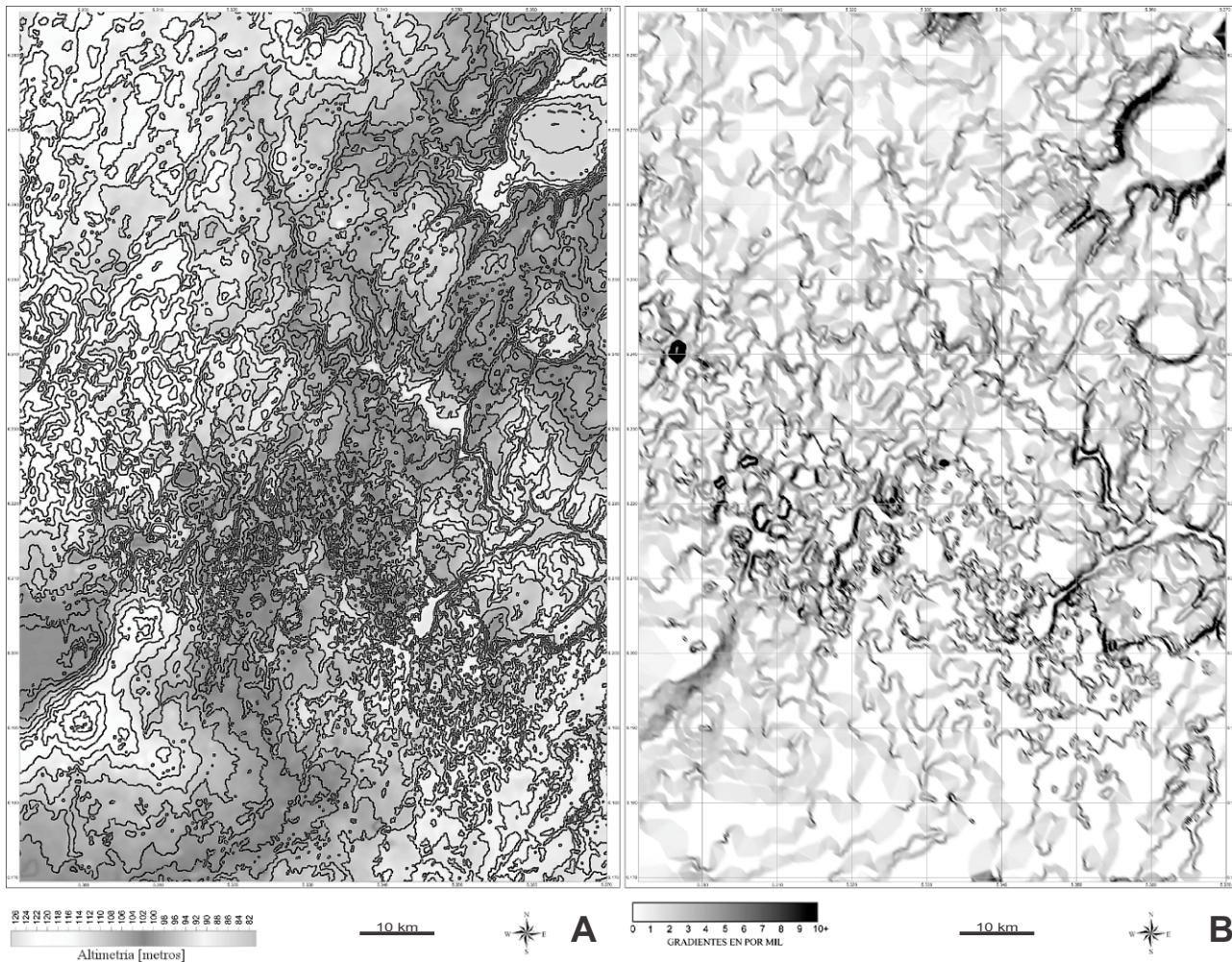


Figura 14. Imágen del modelo digital de elevaciones confeccionado sobre base cartográfica del IGM (resolución espacial de 20 m).





**Figura 15.** Cartografía del modelo digital de elevaciones ó altimetría (A) y de gradientes de pendientes (B) del área de la cuenca de la Laguna Del Chañar. Escala 1: 100 000. Coordenadas de Gauss-Krüger en km. Elipsoide de referencia WGS 84. Fuente base: IGM.

separación en subcuencas en un área dominada por las depresiones y que no muestra escurrimiento concentrado, está condicionada por el trazado de las vías de comunicación y por las canalizaciones. Podrían considerarse unidades hidrológicas funcionales, diseñadas para el manejo de las aguas en situaciones normales ya que en situaciones críticas de anegamiento hay transfluencia de excedentes.

Las divisorias de la cuenca de aportes a la laguna Del Chañar y de las subcuencas fueron trazadas tomando como base las cartas topográficas, los modelos digitales del terreno y el mosaico de imágenes Landsat 7. Se dividió a la cuenca total en seis subunidades hidrológicas funcionales, que de norte a sur y de oeste a este fueron denominadas: N (Brazo Norte Las Encadenadas); C1 (Alternativa Norte); C2 (La Pantanosa), S1 (La Salamanca); S2 (Estancia El Indio) y S3 (Sur-Este). Esta delimitación se muestra en Fig. 12 sobre una base de imagen satelital, acompañada por los datos morfométricos básicos de la cuenca y de las subcuencas, obtenidos según Racca (2007).

#### MODELOS DE BASE GENERADOS

Se presenta a continuación una breve descripción de los modelos generados y/o procesados. Todos los modelos en formato digital están georreferenciados en el sistema Gauss-

Krüger, faja 5, WGS84. La mayoría fue incorporada al sistema de información geográfica que se elaboró, en forma de capas temáticas matriciales o ráster. El área considerada está delimitada por las coordenadas: Xgk (Y) mín. = 6169400.0 m, Xgk (Y) máx. = 6285800.0 m, Ygk (X) mín. = 5291500.0 m, Ygk (X) máx. = 5370000.0 m (WGS84). La mayoría de los modelos generados están limitados por estas coordenadas perimetrales.

**Modelo digital de elevaciones SRTM y sus derivados de pendientes:** Se procesaron y obtuvieron de acuerdo con metodología y software descritos en Racca (2008). Se procesó y compuso un mosaico de dieciséis modelos digitales del terreno de 1° x 1° en latitud y longitud WGS84 (Fig. 2), obtenidos por interferometría utilizando sensores radar por la NASA (SRTM; Farr et al. 2007). La cobertura de este mosaico excede con creces el área de trabajo (Fig. 2) pero también fue utilizado para estudiar los aspectos regionales vinculados con ella. Una vez extraída el área de estudio del mosaico, se procesó el modelo digital de elevaciones para llevarlo a la resolución espacial de 100 m y para producir los modelos digitales de características de las pendientes (Figs. 6-7).

**Modelos digitales generados a partir de cartografía topográfica del IGM:** Se obtuvieron con resolución espacial



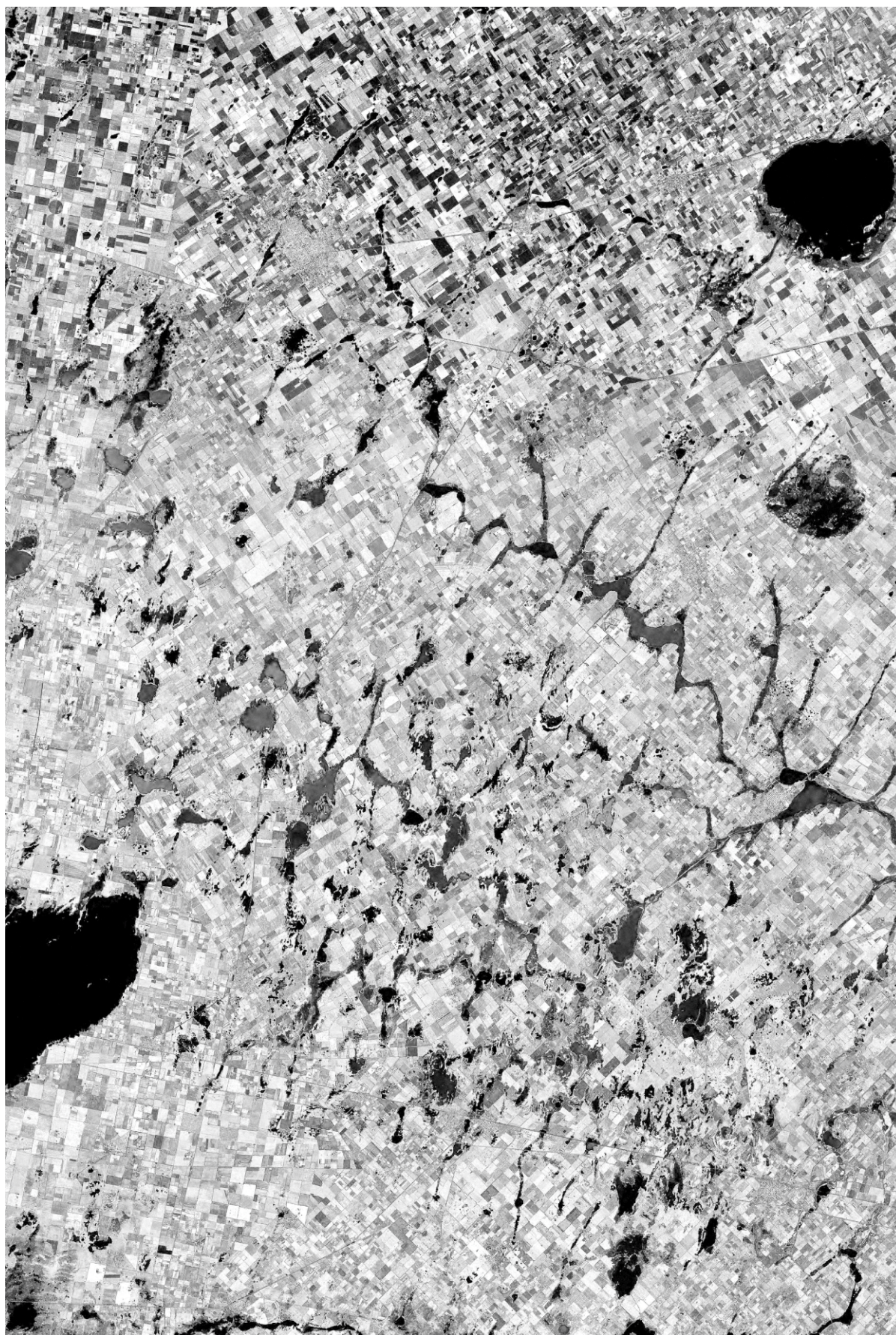


Figura 16. Componente intensidad del mosaico de imágenes satelitales en pseudo color normal.



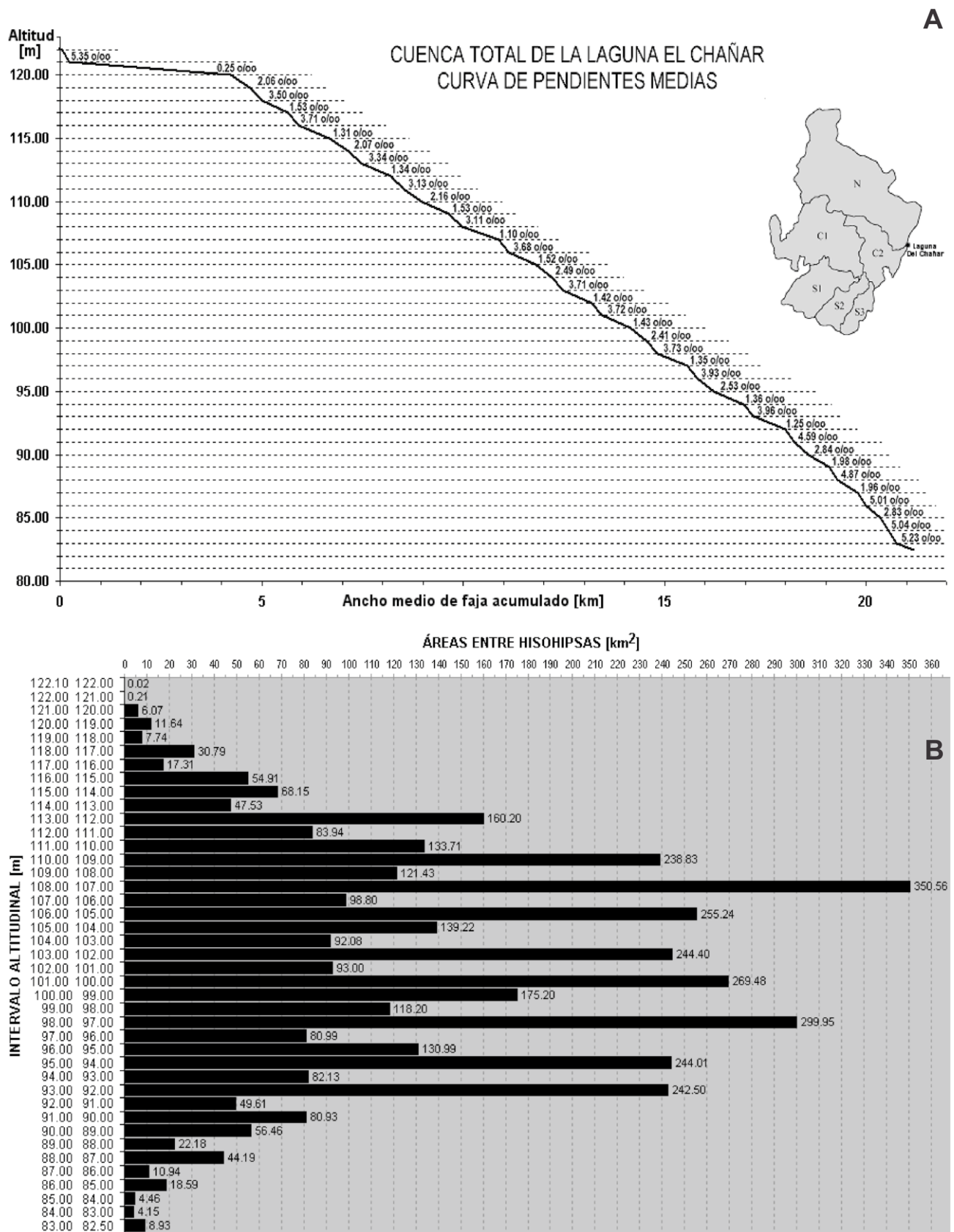


Figura 17. Curva de pendientes medias (A) y frecuencia altimétrica de la cuenca total (B) de la Laguna del Chañar.



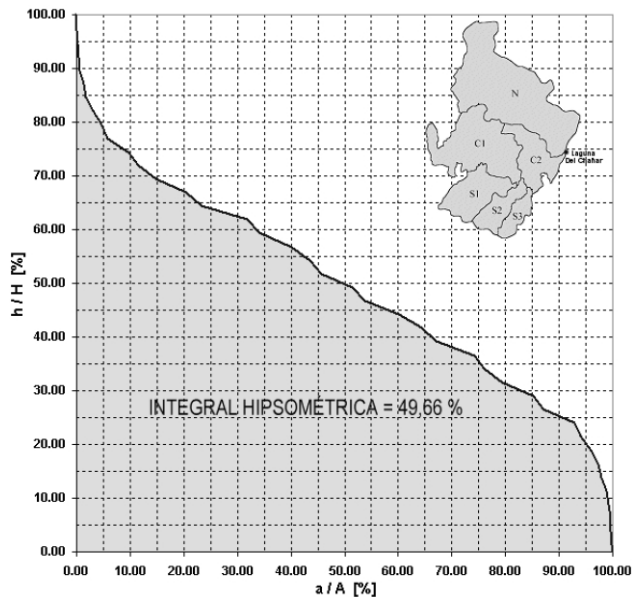


Figura 18. Curva hipsométrica de la cuenca total.

de 20 m, compatible con cartografía en escala 1:100 000. A partir de cartas topográficas del IGM pudo obtenerse un mosaico regular rectangular conformado por 18 hojas en dos subconjuntos a escala diferente (1:100 000 y 1:50 000) y con equidistancias entre curvas de nivel de 2.50 y 1.25 m (Fig. 13). Este mosaico fue la base para la construcción de los modelos digitales del terreno (elevaciones y características de pendientes: gradientes, direcciones y curvaturas). Debido a la gran entropía del relieve del área, debieron vectorizarse más de 2000 curvas de nivel en el arranque del procesamiento. En la Fig. 14 se presenta una imagen de este modelo digital de elevaciones, codificada en tonalidades de gris. La Fig. 15 muestra imágenes de la cartografía del modelo de elevaciones (con codificación cromática de las altitudes e isohipsas con equidistancia 2.50 m superpuestas) y del modelo de gradientes de pendientes del área. Por razones de espacio no se incluyen imágenes de los modelos de direcciones y de curvaturas de las pendientes.

**Mosaico de imágenes satelitarias usado como base icónica de los modelos:** Se utilizó una porción de un mosaico de imágenes del satélite Landsat 7 cuyas componentes fueron registradas durante los años 2000-2002. Intervinieron en la composición pseudo-color normal que se dispuso la banda 7 (asignación color rojo, rango espectral 2.08-2.35  $\mu\text{m}$ ), la banda 4 (asignación color verde, rango espectral 0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ) y la banda 2 (asignación color azul, rango espectral 0.52-0.60  $\mu\text{m}$ ). Este mosaico constituye la base icónica de muchos de los modelos elaborados y fue usado para propósitos de interpretación visual de aspectos del área de estudio. La porción de mosaico satelital original fue procesada, previa extracción de sus tres componentes cromáticas RGB, para realizar cambio de sistema de proyección cartográfica, de UTM Internacional WGS84 a Gauss-Krüger, faja 5 (WGS84), con resolución espacial de 20 m en concordancia con los otros modelos digitales y/o cartográficos elaborados. Además fue procesado para extraer de él las componentes cromáticas IHS (I: intensidad, H: tono, S: saturación). La componente I posee características similares a las de una imagen pancromática extendida al infrarrojo cercano, en tonalidades de gris. Su obtención fue necesaria para la extracción de los cuerpos de

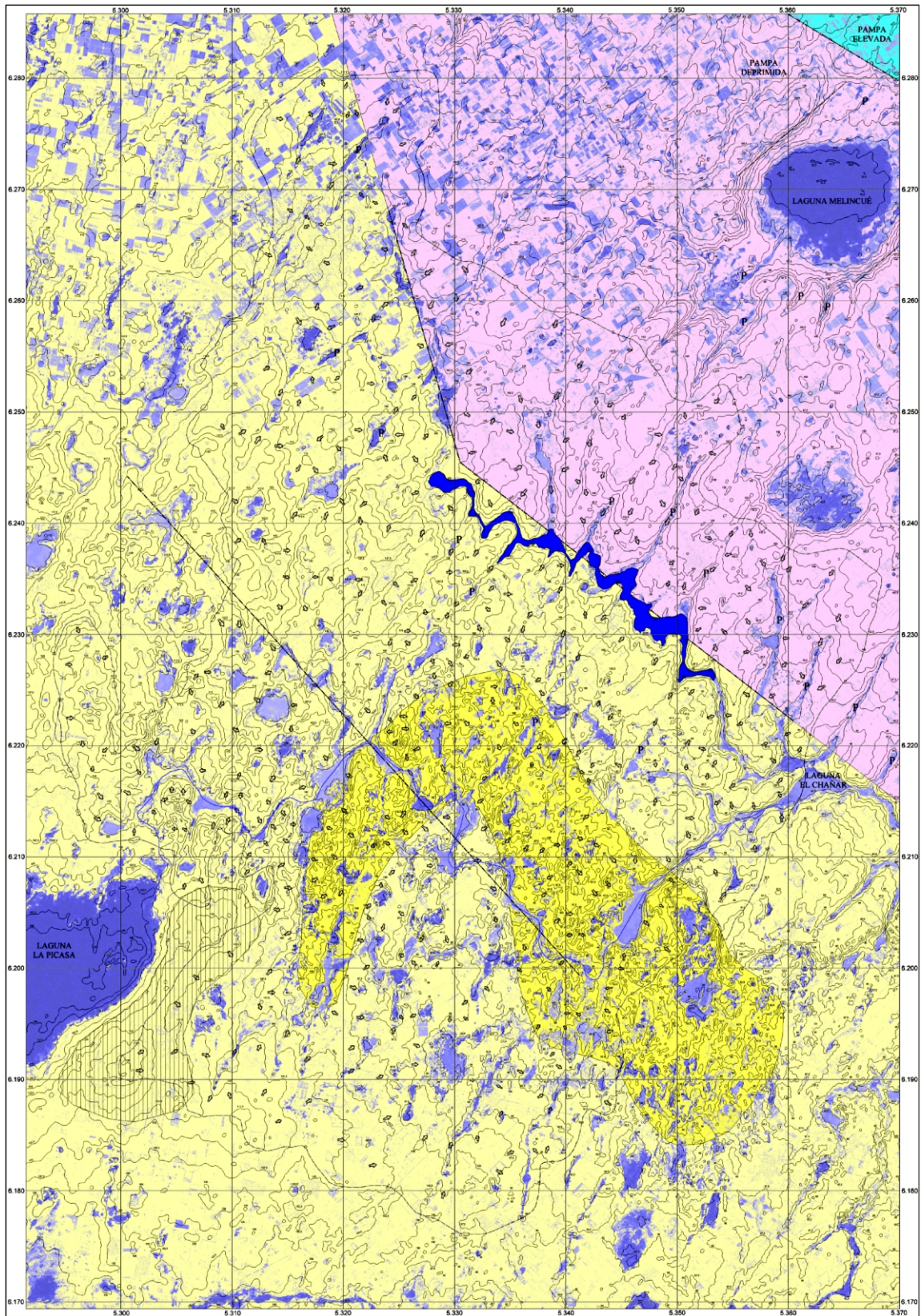
agua superficiales del área, separándolos del resto de la imagen, para ser utilizados en la carta geomorfológica. Esto se realizó por procesamiento de clases de densidad o “density slicing”, ya que el agua se presenta con tonalidades muy oscuras en la componente I, en contraste con las otras coberturas del terreno. Además, la componente I (en tonalidades de gris) sirvió como fondo icónico en la elaboración de cartografía monocromática (Fig. 16).

**Curvas de pendientes medias, frecuencia altimétrica y análisis hipsométrico:** La curva de pendientes medias (Strahler 1952) permite observar la distribución de las pendientes en relación con las altitudes. Las pendientes medias variarían de acuerdo con las geoformas y con las características propias del sistema de avenamiento (Fig. 17A). El diagrama de frecuencia altimétrica (Clarke 1968) se utiliza para describir, en altitudes sucesivas, las frecuencias (áreas) de ciertos niveles, como ser altitud de sitios, puntos más altos en mallas cuadradas de muestreo, altitudes de cumbres o la de áreas de llanos/depresiones tales como hombreras, bancos y collados (Fig. 17B). La curva hipsométrica (Strahler 1952) permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo, en valores relativos porcentuales para facilitar las comparaciones. Normalmente su forma es sigmoidea, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la parte baja; el grado de sinuosidad es muy variable, lo mismo que la pendiente en el punto de inflexión (Fig. 18). Cuando las curvas hipsométricas presentan variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, ello puede relacionarse con controles tectónicos o litológicos. El valor del área relativa que yace bajo la curva (integral hipsométrica) es indicativo del estado de desarrollo de la cuenca; valores superiores al 60 % indican desequilibrio manifiesto en el funcionamiento de la cuenca, valores rondando el 47 % representan equilibrio, e inferiores al 30 % implican senectud.

Los modelos para la cuenca total de la laguna Del Chañar (Figs. 17-18), junto con otros parámetros morfométricos, fueron obtenidos a partir del modelo digital de elevaciones del terreno y del modelo digital de gradientes de pendientes en por millares (resolución espacial 20 m; fuente: IGM), con técnicas y software de desarrollo propio (Racca 2007).

**Carta geomorfológica (Fig. 19):** La carta se confeccionó en escala 1:100 000 según las pautas mencionadas arriba. La información de base fue cartografía del IGM en esa escala, con equidistancia entre curvas de nivel de 2.50 m, y los modelos digitales del terreno derivados de ella (elevaciones y gradientes, direcciones y curvaturas de pendientes). Las unidades de mapeo son básicamente uniformes en cuanto a forma del relieve, litología, suelo, condición hidrológica, vegetación y procesos geomórficos, si bien alguna característica puede ser localmente dominante. La homogeneidad interna de las unidades del terreno varía con la escala del levantamiento. Para este caso particular, a nivel de prefactibilidad técnica, las unidades adoptadas se refieren a “un complejo homogéneo de formas del relieve”, que tienen representación areal en la carta. Las unidades cartografiadas tienen relevancia también para la Geomorfología aplicada a proyectos de ingeniería. Las zonas que se refieren a un comportamiento hidrológico particular y cuyos límites se representan en la cartografía, corresponden a situaciones normales capturadas en las imágenes satelitales; esos límites son indicativos y guardan una precisión acorde con la escala. Una mayor precisión, de acuerdo con las etapas del proyecto, corresponde a trabajos de mayor detalle en cartografías de





**CARTA GEOMORFOLÓGICA**  
**ÁREA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA EL CHAÑAR**  
 PROVINCIAS DE SANTA FE - BUENOS AIRES

ESCALA 1:100.000  
 EQUIDISTANCIA 2,50 METROS  
 COORDENADAS DE GAUSS-KRÜGER EN KM  
 ELIPSOIDE DE REFERENCIA: WGS 84

**UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

- Relieve eólico de acumulación - deflación (Arenas finas, limos y depósitos de loesas, médanos, cordones, lomas)
- Relieve eólico de acumulación - deflación con elevada frecuencia de formas de relativamente pequeña dimensión
- Gran médano al oriente de la laguna La Picasa
- Complejo de lagunas asociadas a depresiones por deflación, con drenaje centrípeto (Cubetas y hoyas de deflación, constituidas en lagunas permanentes y pantanos).
- Sistema de Lagunas Encadenadas (Depresiones condicionadas por la tectónica que muestran tendencia a integrarse)
- Dorso de influencia estructural (corresponde a la franja o interfluvio que separa al área de trabajo, con las cuencas que escurren al río Paraná; en la misma se instala la divisoria de aguas principal)

**LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES**

- Lineamiento de falla mayor: geofractura que separa la pampa elevada de la deprimida.
- Lineamiento de falla menor

**ESCURRIMIENTO HÍDRICO**

- Divisoria de aguas mayor
- Escorrentía laminar superficial
- Paleocanalada
- Canal Alternativa Norte



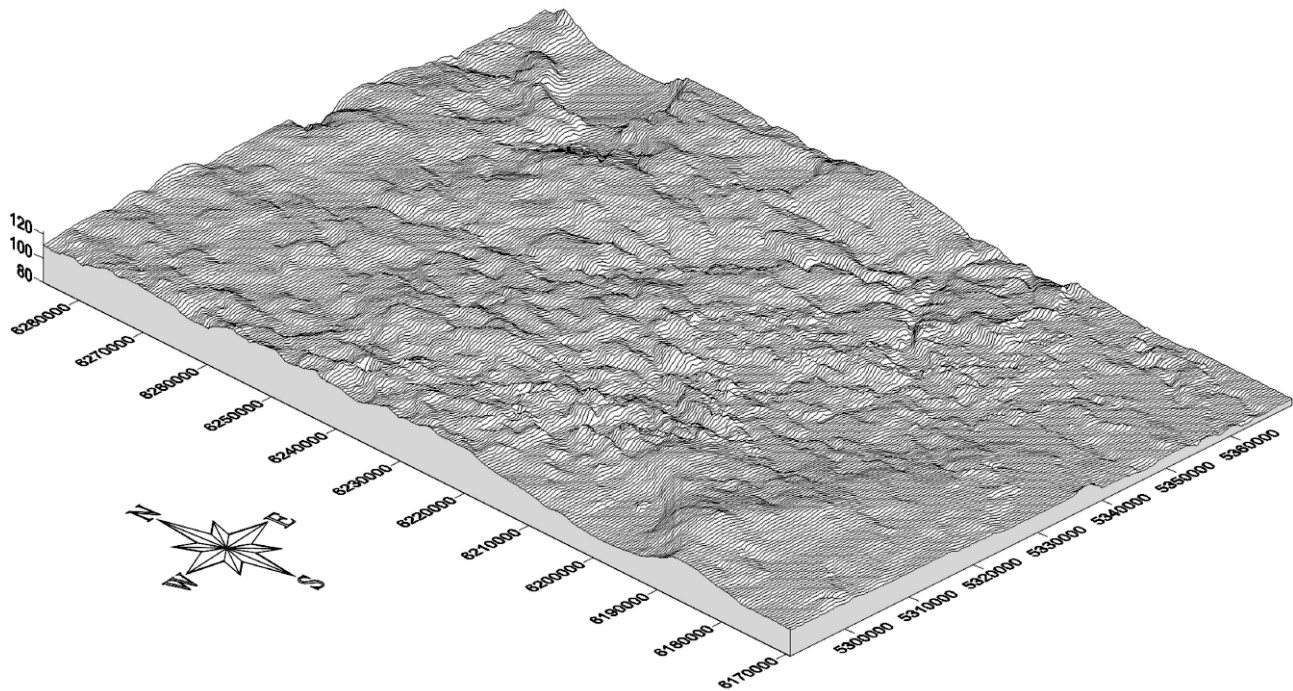


Figura 20. Diagrama-bloque del relieve del área de la cuenca de la laguna Del Chañar. Realizado sobre la base del modelo digital de elevaciones con perfiles trazados cada 400 m. Coordenadas de Gauss-Krüger WGS84, en metros.

escala mayor. Los procesos geomórficos pueden relevarse y cartografiarse a escalas mayores que 1:50 000, por lo cual no corresponde incluirlos en este caso, ólo registrarlos en el marco de la generalización. Las unidades geomorfológicas que se representaron en la carta a escala 1:100 000 son, por su importancia, las siguientes:

**Con símbolos areales:** (1) *Complejo de geofomas de origen eólico.* Es la morfología dominante del área de la cuenca de la Laguna El Chañar y los depósitos de origen eólico son los que cubren la mayor parte de la superficie (Ap. 1:8, 11-14, 26, 28-29). Se toman dentro de la misma unidad el relieve de acumulación (relieves loésicos, cordones, médanos) y las formas de erosión eólica, como las hoyas o cubetas de deflación (Ap. 1:11, 24, 26-28). Sin embargo como las depresiones de ese origen han sufrido posteriores transformaciones por procesos de relleno, muchas de ellas y en particular las de mayores dimensiones se unen a la unidad geomorfológica de lagunas y pantanos (Ap. 1:15, 22, 24-25, 30-31). (2) *Complejo de lagunas y depresiones sin desagüe.* Constituye el otro elemento morfológico que caracteriza el área y por tanto debe ser representado como una unidad. Se incluyen tanto los cuerpos de agua permanentes como temporarios; asimismo los pantanos formados principalmente por la acumulación de materiales relacionados con acciones bióticas y en menor medida por procesos de decantación de sedimentos (Ap. 1:15, 22, 24-25, 30-31). Los sedimentos del fondo de las depresiones suelen ser arcillosos, correspondientes a los estratos denominados “Lujanense” y “Platense” (Holoceno). (3) *Lagunas que forman cadenas.* Estas lagunas que exhiben un

marcado control estructural, con una orientación dominante hacia la propia Laguna El Chañar (Ap. 1:17-19), son el único sistema natural del área que muestra tendencia a la integración, con la posibilidad de transformarse en una red con características fluviales. Además se observa que la estructura continúa hacia la Laguna Mar Chiquita, con posibles relaciones con las nacientes del Río Salado de la Provincia de Buenos Aires. Por tanto, dada su importancia, el sistema de Las Encadenadas (Ap. 1:2, 16, 22-23) también debe ser considerado como otra unidad geomorfológica a representar. (4) *Dorso de influencia estructural.* Esta franja del terreno, paralela al lineamiento estructural de rumbo NW-SE (que puede asociarse a una falla o flexura), es la parte baja del bloque basculado con frente hacia el Río Paraná. Este es a la vez el interfluvio que separa a las cuencas fluviales que desaguan en el río nombrado, de las aguas de las precipitaciones que fluyen hacia el área en estudio. Morfológicamente es un sector de transición entre los dos grandes bloques arriba citados; por eso y por sus dimensiones se considera de interés el representarlo como otra unidad.

**Con símbolos puntuales:** En la zona de trabajo es conveniente destacar dos procesos geomórficos: uno corresponde a la presencia de numerosas hoyas de deflación (Ap. 1:24, 26-28), depresiones de poca profundidad que suelen retener las aguas de lluvias. El otro corresponde al escurrimiento hídrico laminar que actúa sobre las geofomas eólicas. Dado que no hay evidencias de escurrimiento concentrado natural que pueda provocar fenómenos erosivos, ambos procesos se registran en el mapa con símbolos convenientes, sin que su localización sea



Figura 19. Carta geomorfológica del área de la cuenca de la laguna Del Chañar elaborada durante el presente estudio.

exhaustiva, particularmente en cuanto al escurrimiento laminar.

**Con símbolos lineales:** Límites de unidades, elementos estructurales (tectónica de fallas), elementos relacionados con la hidrografía (líneas de cresta mayores y menores, direcciones de escurrimiento superficial y paleocañadas, Ap. 1:20-21), y símbolos de la topografía (canevá, vías de comunicación, canales, curvas de nivel seleccionadas y quiebres de pendientes relevantes).

La leyenda de la carta geomorfológica contempla los siguientes ítems: (1) *Unidades geomorfológicas:* Relieve eólico de acumulación-deflación: arenas finas, limos y depósitos de loess, médanos, cordones, lomas (Ap. 1:8, 11-14, 26, 28-29). Relieve eólico de acumulación-deflación con elevada frecuencia de formas de relativamente pequeña dimensión (Ap. 1:24, 26-28). Gran médano al oriente de la laguna La Picasa (Ap. 1:9). Complejo de lagunas asociadas a depresiones por deflación, con drenaje centrípeto: cubetas y hoyas de deflación, constituidas en lagunas permanentes y pantanos (Ap. 1:15, 22, 24-25, 30-31). Sistema de Lagunas Encadenadas: depresiones condicionadas por la tectónica que muestran tendencia a integrarse (Ap. 1:2, 16, 22-23). Dorso de influencia estructural (corresponde a la franja o interfluvio que separa al área de trabajo, con las cuencas que escurren al río Paraná; en la misma se instala la divisoria de aguas principal). (2) *Lineamientos estructurales:* Lineamiento de falla mayor y falla menor. (3) *Escurrimiento hídrico:* Divisoria de aguas mayor; escurrimiento laminar superficial; paleocañadas (Ap. 1:20-21); canal Alternativa Norte (Ap. 1:3-7, 15, 18-19, 25); canales secundarios (Ap. 1:10, 12-14).

En la Fig. 20 se presenta uno de los diagramas-bloque ortográficos del relieve, elaborado con perfiles topográficos proyectados del área de estudio y desarrollado a partir del modelo digital de elevaciones del terreno de resolución espacial 20 m.

## CONCLUSIONES

El área de estudio se ubica en la Pampa Deprimida, región de muy baja energía morfogenética. La lenta subsidencia regional ha permitido mantener mayor altitud que en la Pampa Ondulada. La baja intensidad de la morfogénesis reciente es favorable para la conservación de las geoformas antiguas, por lo que la morfología eólica es mucho más importante que la morfología fluvial, predominando sedimentos eólicos que cubren la mayor parte del área.

El relieve es de baja amplitud y alta frecuencia con pendientes reducidas. Las características geomorfológicas corresponden a un paisaje desarrollado bajo condiciones de clima árido a semidesértico, constituido en gran parte por depresiones originadas por deflación que provocan un drenaje centrípeto. Estas características arreicas hacen que el paisaje sea discordante con las actuales condiciones climáticas húmedas.

No se han observado evidencias morfológicas de fenómenos de erosión hídrica ni eólica actuales. En las geoformas presentes, conformadas por materiales de gran capacidad de infiltración, el escurrimiento superficial es areolar, sin concentración de flujos. Las bajas pendientes hacen que las aguas de lluvia se estanquen y sean evacuadas por evapotranspiración.

La red hidrográfica no está organizada de acuerdo con el

régimen de lluvias actuales; las bajas pendientes regionales y locales obstaculizan el escurrimiento superficial. El sistema de las Lagunas Encadenadas y su incorporación a la red del río Salado en condiciones de máxima, es una muestra de una tendencia a la “integración de depresiones” y hacia la organización de una red exorreica que se corresponda con las actuales condiciones climáticas. Sin embargo, existe una exigua pendiente general y obstáculos creados por la actividad eólica anterior.

La cartografía geomorfológica editada permite obtener información espacial del complejo de formas del relieve a nivel de escala 1:100.000, cuyos límites se refieren a situaciones normales capturadas en las imágenes satelitales.

Se destaca el aporte de los modelos digitales georreferenciados que permiten un examen detallado de la altimetría y de las características de las pendientes, celda por celda. Estos modelos son además la base para la elaboración de otros modelos: hidrológicos, de susceptibilidad a la erosión y cartográficos entre otros. Los aspectos morfométricos en general, las curvas de pendientes medias, los diagramas de frecuencia altimétrica y el análisis hipsométrico de cuencas y subcuencas aportan no sólo para el estudio geomorfológico puro, sino también para la geomorfología aplicada.

El mosaico de imágenes satelitales Landsat permitió realizar interpretación visual de ciertos aspectos del área en estudio y constituyó una base icónica de fondo para la cartografía elaborada como así también para la que se pueda editar en el futuro.

**Agradecimientos:** Este estudio fue solicitado y financiado por la Delegación Santa Fe de la Fundación ARGENTINA y forma parte del Estudio Integral de la Cuenca de Aportes a la laguna Del Chañar que llevó a cabo el Centro Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua y el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH) – Santa Fe. Nuestro agradecimiento a: el Dr. Ing. Eliseo Popolizio (†) por sus relevantes comentarios; a la Comisión Nacional de Estudios Espaciales CONAE por las imágenes satelitales suministradas durante el desarrollo del proyecto *Utilización de datos registrados por el satélite SAC-C - cámaras MMRS y HRTC- para la investigación en geomorfología ambiental vinculada con el estudio y manejo de los recursos hídricos y con el uso del suelo en la llanura pampeana* (dirigido por los autores); al Dr. Gustavo Bonorino (Ushuaia) y un segundo árbitro anónimo por sus valiosos aportes en una primera versión del manuscrito, como revisores de la revista. En especial los autores, en su calidad de discípulos, recuerdan con sumo afecto y agradecimiento a la Dra. Pierina Pasotti (†), investigadora pionera en el estudio de la llanura pampeana. Asimismo se debe mencionar a los doctores Hermann Verstappen y Robert Van Zuidam cuyas enseñanzas sobre mapeo geomorfológico fueron muy valiosas para el desarrollo del presente estudio.

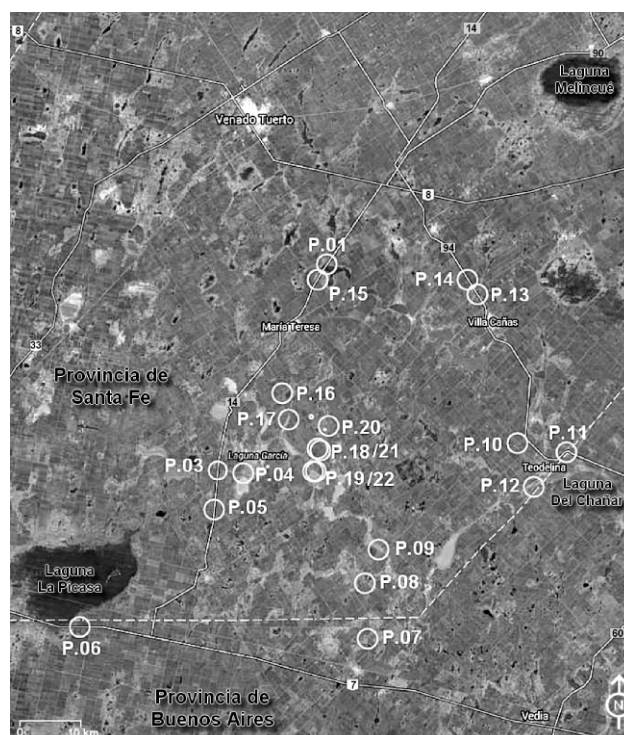
## REFERENCIAS

- Castellanos, A., 1962. El Holoceno en la Argentina. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* 45: 1-47.
- Clarke J. I., 1968. Altimetric frequency curve. – In: R.W.Fairbridge (ed.): *The Encyclopaedia of Geomorphology*. Reinhold Book Co., 1114 p.
- De Martonne, E., 1968. Tratado de Geografía física. Tomo I. – Juventud, 520 p.
- Erhart H., 1951. La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostasie et théxistasie. – Paris, Masson, 90 p.
- Farr T.G, Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D. & Alsdorf D., 2007. The Shuttle Radar



- Topography Mission. – *Review of Geophysics* **45**: 1-33.
- Garreaud R.D., Vuille M., Compagnucci R. & Marengo J., 2009. Present-day South American climate. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **281**: 180-195.
- Iriondo M. & Kroling R., 1995. El sistema eólico pampeano. – *Comunicaciones del Museo Provincial de Ciencias Naturales "F. Ameghino"* **5**: 1-68.
- Parent H. & Peralta E.P., 2010. Prefacio. La Cuenca del Arroyo del Medio (Santa Fe-Buenos Aires, Argentina). – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **72-75**: 1-2.
- Parent H., Polare M. & Lattuca F., 2010. Estratigrafía del Cuaternario del sur de la Provincia Santa Fe, Argentina. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **72-75**: 47-54.
- Pasotti P., 1964. La cuenca del arroyo Cañada de Gómez (Prov. de Santa Fe). – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **48**: 1-47.
- Pasotti P., 1968. Evidencias morfológicas del levantamiento de la "Pampa levantada" en un sector de la llanura santafesino-bonaerense. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **53**: 1-32.
- Pasotti P., 1971. El Arroyo Pavón. Morfología de su cuenca y modelo de red hidrográfica. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **55**: 1-32.
- Pasotti P., 1974. La neotectónica en la Llanura Pampeana. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **58**: 1-28.
- Pasotti P. & Castellanos A., 1963. El relieve de la llanura santafesino-cordobesa comprendida entre los paralelos 32° y 33°30' y desde 62°45'W hasta el Río Paraná. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **47**: 1-79.
- Pasotti P. & Canoba C., 1979a. Tectonic lineaments in a sector of the Argentine Plains (Pampa). – *Proceedings of the Second International Conference on Basement Tectonics, Newark, Delaware, USA*, p. 435-443.
- Pasotti P. & Canoba C., 1979b. Estudio de la llanura pampeana con Imágenes Landsat. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **63**: 1-22.
- Pasotti P. & Albert O.A., 1991. El río Carcarañá en territorio santafesino. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **67**: 1-30.
- Pasotti P. & Albert A.O., 1995. Estudio de la Cuenca Hidrográfica del río Carcarañá. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **69**: 1-179.
- Pasotti P., Albert O.A. & Canoba C.A., 1981. La cuenca del Arroyo Ludueña. – *Notas del Instituto de Fisiografía* **A11**: 1-16.
- Pasotti P., Albert O.A. & Canoba C.A., 1984. Contribución al conocimiento de la laguna Melincué. – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **66**: 1-30.
- Pasotti P., Albert O.A., Canoba C.A., Lewis J.R., Pire E. & Racca J.M.G., 1993. Rasgos Geológicos-Geomorfológicos de la Cuenca del Arroyo Pavón (Santa Fe). – *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología* **68**: 1-218.
- Popolizio E., 1984. Importancia de la fotointerpretación geomorfológica en las obras de ingeniería de llanuras. – *Geociencias Argentina* **12**: 3-39.
- Racca J.M.G., 1981. Geomorfología cuantitativa de la cuenca del Arroyo San Lorenzo (Santa Fe) y su relación con la Neotectónica. En: *Estudios de Geografía de la Provincia de Santa Fe. – Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA (Serie Especial)* **9**: 293-316.
- Racca J.M.G., 2007. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **77**: 31-38.
- Racca J.M.G., 2008. Manejo y utilización de los modelos digitales de elevación SRTM en estudios fisiográficos y cartografía. – *Actas del Décimo Congreso Argentino y Séptimo Latinoamericano de Agrimensura, Santa Fe*: 245-256.
- Racca J.M.G., 2010. Geomorfología de la Cuenca del Arroyo del Medio. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **72-75**: 13-42.
- Sacchi O., 2010. Caracterización climática del área de la Cuenca del Arroyo del Medio. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **72-75**: 43-46.
- Strahler A.N., 1952. Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography. – *Bulletin of the Geological Society of America* **63**: 1117-1142.
- Taboada M.A., Damiano F. & Lavado R.S., 2012. Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos. – *Informe INTA*, 36p.
- Tricart J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. – *Colección Científica INTA* **12**: 1-202.
- Van Zuidam R. A., 1985/1986. Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. – The Hague, the Netherlands, Smits Publishers, 442 p.
- Verstappen H. Th. & Van Zuidam R. A. 1975. ITC System of Geomorphological Survey. – International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, The Netherlands, ITC, 49 p.
- Verstappen H. Th. & R. A. Van Zuidam 1991. The ITC System of Geomorphologic Survey: A basis for the evaluation of natural resources and hazards. – *Publication ITC (The Netherlands)* **10**: 1-89.

**Apéndice 1.** Registro fotográfico en terreno de elementos significativos observados en el área de estudio.



**Ap. 1. 1.** Estaciones donde se realizaron observaciones in situ y se tomaron fotografías de elementos y rasgos destacados de la cuenca.





**Ap. 1: 2.** Estación 01 ( $33^{\circ}56'12''$ .0S,  $61^{\circ}51'06''$ .0W). Laguna Sesenta y Seis, del sistema de Las Encadenadas, atravesada por la Ruta 14 y el FFCC. (Cota 100 m). Foto 11: Contraste entre el bajo y la zona cultivable, vista al N.



**Ap. 1: 3.** Estación 03 ( $34^{\circ}12'19''$ .7S,  $62^{\circ}01'25''$ .4W). Canal Alternativa norte, 12 km al norte de San Gregorio. Foto 13: Vista hacia el E, en primer plano bordo y al fondo la Laguna Bella Vista. Foto 15: Conexión de La Picasa hacia las Encadenadas. Alcantarilla de cinco tubos de 1 m de diámetro en el canal regulador.



**Ap. 1: 4.** Estación 03 ( $34^{\circ}12'19''$ .7S,  $62^{\circ}01'25''$ .4W). Canal Alternativa norte, 12 km al norte de San Gregorio. Foto 16: Vista del canal; salinización de las riberas. Foto 18: Vista desde la ruta 14 del sector medanoso al fondo.



**Ap. 1: 5.** Estación 04 ( $34^{\circ}11'34''$ .8S,  $61^{\circ}59'22''$ .5W). Canal Alternativa Norte sobre camino de tierra. Foto 19: Vista aguas abajo; espuma marcando velocidad en el canal. Foto 20: Vista aguas arriba.





Ap. 1: 6. Estación 04 ( $34^{\circ}11'34''$ .8S,  $61^{\circ}59'22''$ .5W). Canal Alternativa Norte sobre camino de tierra. Foto 22: Alcantarilla de 7 tubos con problemas de escurrimiento rápido y erosión. Foto 23: Canal recto aguas abajo de la alcantarilla de 7 tubos; otra alcantarilla similar al fondo.



Ap. 1: 7. Estación 04 ( $34^{\circ}11'34''$ .8S,  $61^{\circ}59'22''$ .5W). Canal Alternativa Norte sobre camino de tierra. Fotos 26-27: Perfil del suelo en el sector canalizado. Debajo del perfil edafizado probables depósitos del Pleistoceno superior al Holoceno (estratos "Bonaerense" o "Platense"). Los cultivos llegan hasta el borde del canal indicando que la zona no es inundable. Al fondo la ondulación indicativa de los depósitos eólicos.



Ap. 1: 8. Estación 05 ( $34^{\circ}14'37''$ .2S,  $62^{\circ}01'41''$ .0W), sobre la Ruta 14. Foto 29: Vista de un depósito eólico característico, cultivado, en cuya cumbre se observan casa y arboleda.



Ap. 1: 9. Estación 06 ( $34^{\circ}23'07''$ .9S,  $62^{\circ}14'07''$ .7W). Fotos 30-32: Vista del borde oriental de laguna La Picasa, enfocando hacia el oeste.





**Ap. 1: 10.** Estación 07 ( $34^{\circ}23'46''$ .8S,  $61^{\circ}47'33''$ .9W). Estancia La Calandria, sobre camino de tierra a unos 4 km al norte de la Ruta Nacional 7. Foto 33: Canal, vista al este, tapado con chapas al fondo para evitar el escurrimiento. Foto 34: Canal, vista al oeste.



**Ap. 1: 11.** Estación 07 ( $34^{\circ}23'46''$ .8S,  $61^{\circ}47'33''$ .9W). Estancia La Calandria, sobre camino de tierra a unos 4 km al norte de la Ruta Nacional 7. Foto 35: Desde el camino, vista de la zona inundable en primer plano con ganado pastando; al fondo un clásico depósito medanoso cultivado. Foto 36: Médanos al fondo; bajo canalizado en primer plano con suelos grises salinos.



**Ap. 1: 12.** Estación 07 ( $34^{\circ}23'46''$ .8S,  $61^{\circ}47'33''$ .9W). Estancia La Calandria, sobre camino de tierra a unos 4 km al norte de la Ruta Nacional 7. Fotos 37-38: Médanos al fondo; bajo canalizado en primer plano con suelos grises salinos.

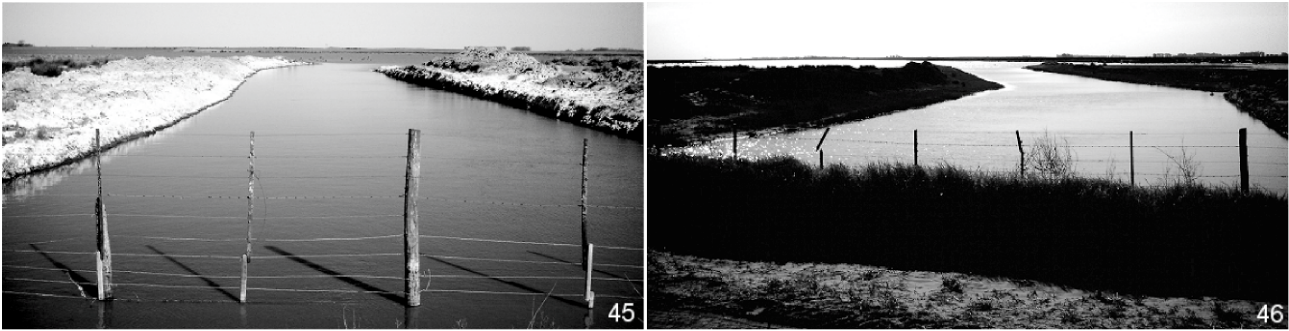


**Ap. 1: 13.** Estación 07 ( $34^{\circ}23'46''$ .8S,  $61^{\circ}47'33''$ .9W). Estancia La Calandria, sobre camino de tierra a unos 4 km al norte de la Ruta Nacional 7. Fotos 39-40: Médanos al fondo; bajo canalizado en primer plano con suelos grises salinos.

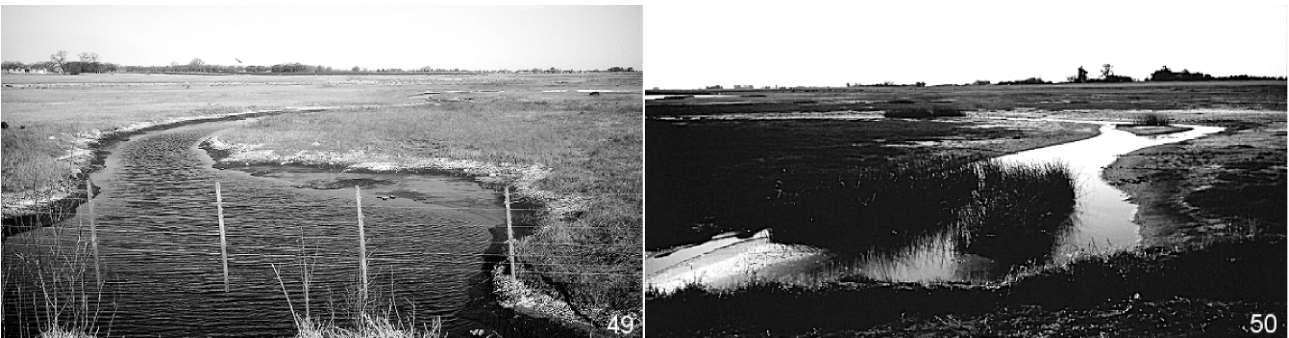


**Ap. 1: 14.** Estación 08 ( $34^{\circ}19'35''$ .5S,  $61^{\circ}48'09''$ .8W). Canal Alternativa Norte; atraviesa el camino desde estancia La Calandria hacia Teodolina. Foto 42: Canal aguas abajo vista al oeste. Foto 43: Canal aguas arriba, vista E. Corte realizado para conectar la Laguna la Salamanca hacia la Laguna La Pantanosa.





Ap. 1: 15. Estación 09 (34°17'22".0S, 61°46'25".8W). Tramo del canal alternativa norte que une dos lagunas y cruza un camino en inmediaciones de la estancia El Cisne (camino en trinchera, un metro por debajo del nivel del terreno). Foto 45: Vista SE. Foto 46: Vista NW.



Ap. 1: 16. Estación 10 (34°09'36".1S, 61°34'08".3W). Lagunas Encadenadas cerca de Teodolina, al oeste de la ciudad. Cruce con la Laguna Las Marías. Foto 49: Vista hacia el E de la interconexión de las lagunas. Foto 50: Vista hacia el NW de la laguna Las Marías con cauce sinuoso.



Ap. 1: 17. Estación 11 (34°10'13".9S, 61°30'01".7W). Laguna Del Chañar vista desde la Ruta 94. Foto 53: Vista de la laguna al oeste; en primer plano puente alcantarilla de camino abandonado. Foto 54: En el fondo se observa la localidad de Teodolina (al SW).



Ap. 1: 18. Estación 12 (34°12'11".9S, 61°32'06".0W). Desembocadura del Canal Alternativa Norte en la laguna Del Chañar. Fotos 59-60: Canal hacia el este.





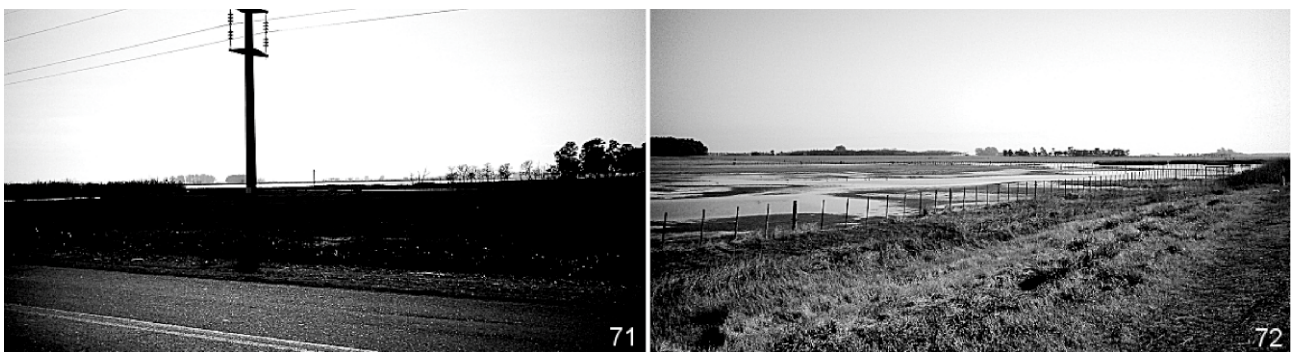
**Ap. 1: 19.** Estación 12 ( $34^{\circ}12'11''$ .9S,  $61^{\circ}32'06''$ .0W). Desembocadura Canal Alternativa Norte en la laguna Del Chañar. Foto 58: Vista del canal hacia el oeste. Foto 61: Alcantarilla en el camino.



**Ap. 1: 20.** Estación 13 ( $33^{\circ}58'04''$ .5S,  $61^{\circ}37'48''$ .7W). Paleocañada que va a Las Encadenadas. Fotos 67-69: Vista panorámica hacia el SW desde la Ruta 94 a unos 3 km de Villa Cañás. Se destaca con tonos oscuros la zona baja inundable enmarcada por un médano en el último plano.



**Ap. 1: 21.** Estación 14 ( $33^{\circ}57'58''$ .7S,  $61^{\circ}37'52''$ .7W). Paleocañada que va a Las Encadenadas. Foto 70: Vista del sector bajo de la paleocañada y médano cultivado al fondo.



**Ap. 1: 22.** Estación 15 ( $33^{\circ}56'27''$ .5S,  $61^{\circ}51'47''$ .3W). Laguna Sesenta y Seis. Foto 71: Vista al NE de la laguna que pertenece al sistema de Las Encadenadas. Foto 72: Vista al SW.





**Ap. 1: 23.** Estación 15 ( $33^{\circ}56'27''$ .5S,  $61^{\circ}51'47''$ .3W). Laguna Sesenta y Seis. Fotos 73-75: Vista panorámica al SW destacándose en primer plano un sector de expansión marcado por la costra salina.



**Ap. 1: 24.** Estación 16 ( $34^{\circ}05'37''$ .5S,  $61^{\circ}55'14''$ .2W). Quiebre en el camino de tierra a Estancia Betania (10 km al sur de María Teresa). Foto 76: Laguna adyacente a la Estancia Betania, vista al SW. Foto 77: En primer plano la zona elevada adyacente al bajo con sedimentos arenosos donde se desarrollan los cultivos; en el bajo, la presencia de ganado.



**Ap. 1: 25.** Estación 17 ( $43^{\circ}07'21''$ .2S,  $61^{\circ}54'45''$ .8W). Canal secundario al Alternativa Norte que se conecta a la laguna La Betania. Foto 78: Vista al NE del canal, aguas arriba. Foto 79: Vista hacia el SW, aguas abajo.



**Ap. 1: 26.** Estación 18 ( $34^{\circ}09'30''$ .9S,  $61^{\circ}53'15''$ .4W). Camino de tierra que conduce a la Colonia Morgan. Foto 80: Dorso sobre camino en cota 100 m; lomada al fondo. Foto 81: Vista al fondo de las lomadas; zona inundable en primer plano y en plano medio.



**Ap. 1: 27.** Estación 19 ( $34^{\circ}10'25''$ .3S,  $61^{\circ}52'33''$ .4W). Camino de tierra que conduce a la Colonia Morgan. Fotos 82-83: Vista panorámica del camino (en curva a  $90^{\circ}$ ), donde se observa la ondulación de depósito eólico, señalada por la traza; en primer plano un bajo nivel y al fondo elevación.





**Ap. 1: 28.** Estación 20 ( $34^{\circ}10'25''.3S$ ,  $61^{\circ}52'33''.4W$ ). Camino de tierra que conduce a la Colonia Morgan. Foto 84: Ondulaciones notorias de los depósitos eólicos, mostradas por el perfil del camino y las alambradas laterales.



**Ap. 1: 29.** Estación 21 ( $34^{\circ}10'50''.7S$ ,  $61^{\circ}50'08''.6W$ ). Camino de tierra que conduce a la Colonia Morgan. Fotos 86-87: Médanos con ondulaciones, marcados por alambrados.



**Ap. 1: 30.** Estación 22 ( $34^{\circ}10'56''.5S$ ,  $61^{\circ}50'51''.3W$ ). Laguna Morgan. Foto 88: Laguna Morgan (mirando hacia el N del camino sobre el canal). Foto 90: Conexión hacia la otra laguna, al sur.



**Ap. 1: 31.** Estación 22 ( $34^{\circ}10'56''.5S$ ,  $61^{\circ}50'51''.3W$ ). Laguna Morgan. Foto 91: Alcantarilla de 8 tubos sobre el camino, conectando el canal anterior. Foto 92: Camino hacia colonia Morgan (camino y alambrados ondulados, vista hacia el W).