



FACULTAD *de* CIENCIAS  
EXACTAS *y* NATURALES  
.....  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
*de* MAR DEL PLATA

*Heterogeneidad del paisaje en la cuenca inferior del  
arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires*

Prof. Natalia Vercelli

Director

Dra. Ilda Entraigas

Co-Director

Dr. Marcelo Zárate

Tesis presentada como requisito para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS,  
área BIOLOGÍA

Junio de 2018

*Heterogeneidad del paisaje en la cuenca inferior del  
arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires*

---

Prof. Natalia Vercelli

Doctorando

---

Dra. Ilda Entraigas

Director de Tesis

---

Dr. Marcelo Zárate

Codirector de Tesis

*Heterogeneidad del paisaje en la cuenca inferior del  
arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires*

Prof. Natalia Vercelli

Aprobada por:

.....

Dr.

Miembro titular del jurado

.....

Dr.

Miembro titular del jurado

.....

Dr.

Miembro titular del jurado

*Para los de siempre,  
y esta vez especialmente para vos,  
Lautaro*



## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a:

A mi directora, Ilda Entraigas, amiga, maestra, compañera, cómplice... por tanto apoyo y tanta libertad.

A mi co-director, Marcelo Zárate, por su profesionalismo y simpleza.

A ambos, por contagiar y transmitir su entusiasmo por esta profesión, siempre con mucho cariño.

A mis compañeros de trabajo y amigos del IHLLA, que brindaron su apoyo incondicional, cariño, buena onda y mates.

A los técnicos Enrique Queupán, Joaquín Rodríguez y Matías Silicani, por su colaboración y buena onda en los trabajos de campo.

A la cátedra de Botánica Sistemática de la Facultad de Agronomía de la UNCPBA, especialmente a Rosa Scaramuzzino y Carlos D'Alfonso, por su ayuda y dedicación para la determinación de ejemplares.

A Guadalupe Ares, María Emilia Zabala, Luisa Fajardo González, Sebastián Dietrich, Marcelo Varni, José González Castelain, Juan Argañaraz, Christian Guevara, y Karina Olivera por la ayuda brindada en distintos aspectos de este trabajo.

Al Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Usunoff", institución que hizo posible la realización de este doctorado colaborando en aspectos académicos, logísticos y económicos, y que me formó (y aún continua formándome) como profesional en investigación.

Al laboratorio del IHLLA, y sus técnicos Daniel Arias, Fátima Altolaquirre y Natalia de Libano, por la realización de los análisis químicos.

Al laboratorio de suelos del INCITAP (UNLPam), por las determinaciones analíticas realizadas.

A la Comisión de Investigaciones Científicas y al Consejo Nacionales de Investigaciones Científicas y Técnicas, por el otorgamiento de las becas y parte de la financiación necesaria para la realización de este trabajo.

A mi tutora, Sandra Obenat, por su buena predisposición para ayudarme en temas administrativos.

A Pedro Caparros, secretario de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNMdP, por su gran colaboración y ayuda para interpretar el reglamento y tener todo el día aún estando lejos.

Y fuera del ámbito laboral:

A mis papás, Patricia y Marcelo, por estar en todo y darme la posibilidad de elegir esta profesión que tanto me gusta.

A mi compañero de la vida, Sebastian, por bancarme todos estos años y acompañarme con mucho amor en este proceso que tantas idas y vueltas tiene.

A mis hermanos, Magui, Fede, Nacho y Vero, grandes compañeros y amigos. Y a mis amigas de la vida, MaruP, MaruB, Igui, AnaL, AnaP, Aye, Anto, Lui y Lucre.

A mi abuela Martha, que desde algún lado está mirando cómo esto concluye.

Y a vos hijito, que no esperaba que vinieras antes de tener que escribir esto, y que me haces la mamá más feliz del mundo.

## ÍNDICE

<b>Capítulo N° 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema y preguntas de investigación	1
1.2. Marco teórico-conceptual	4
1.2.1. Los sistemas complejos	4
1.2.2. El paisaje como sistema complejo, jerárquico y heterogéneo	6
1.2.3. Las comunidades vegetales	14
1.2.4. Los pastizales como sistemas ecológicos	19
1.3. Hipótesis	22
1.4. Objetivos	23
 <b>Capítulo N° 2: MARCO GENERAL DE LA PAMPA DEPRIMIDA</b>	 <b>24</b>
2.1. Características climáticas	26
2.2. Geología y geomorfología	27
2.3. Características pedogenéticas	32
2.4. Características hidrológicas	36
2.5. Características ecológicas	40
 <b>Capítulo N° 3: METODOLOGÍA</b>	 <b>50</b>
3.1. Área de estudio	50
3.2. Selección y caracterización de Unidades de Análisis	52
3.2.1. Topografía	53
3.2.2. Suelos	54
3.2.3. Agua freática	55
3.2.4. Vegetación	57
3.3. Selección y caracterización de unidades muestrales	57
3.3.1. Topografía	58
3.3.2. Suelos	59
3.3.3. Vegetación	59
3.3.4. Ubicación de unidades muestrales en el espacio florístico, geográfico y ambiental	66
3.4. Caracterización de elementos del paisaje y zonas de tensión	69

<b>Capítulo N° 4: RESULTADOS</b>	70
4.1. Generalidades del área de estudio	70
4.2. Caracterización de Unidades de Análisis	71
4.2.1. Topografía	72
4.2.2. Suelos	76
4.2.3. Agua freática	91
4.2.4. Vegetación	100
4.3. Caracterización de unidades muestrales	107
4.3.1. Topografía	109
4.3.2. Suelos	112
4.3.3. Vegetación	114
4.3.4. Ubicación de unidades muestrales en el espacio florístico, geográfico y ambiental	125
4.4. Caracterización de elementos del paisaje y zonas de tensión	132
4.4.1. Dunas	134
4.4.2. Cubetas de deflación	137
4.4.3. Planicie de Agradación con Costra Calcárea Estratiforme (PACCE)	142
 <b>Capítulo N° 5: DISCUSIÓN</b>	151
5.1. Objetivo específico I	151
5.2. Objetivo específico II	154
5.3. Objetivo específico III	157
 <b>Capítulo N° 6: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN</b>	160
6.1. Conclusiones	160
6.2. Líneas futuras de investigación	162
 <b>BIBLIOGRAFÍA</b>	164
 <b>ANEXO N° 1</b>	179
<b>ANEXO N° 2</b>	186
<b>ANEXO N° 3</b>	190

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2. 1: Ubicación de la Ecorregión Pampa.....	25
Figura N° 2. 2: Unidades morfoestructurales (y unidades menores) de la provincia de Buenos Aires .....	28
Figura N° 2. 3: Dunas longitudinales y parabólicas, y cubetas de deflación, en el sector medio e inferior de la cuenca del arroyo del Azul .....	31
Figura N° 2. 4.: Grandes grupos de suelos de la Provincia de Buenos Aires .....	34
Figura N° 2. 5.: Principales cursos y cuerpos de agua de la provincia de Buenos Aires... ..	37
Figura N° 2. 6.: Fotografías de comunidades típicas del pastizal pampeano. A. Flechillar. B. Juncal de <i>Schoenoplectus californicus</i> . C. Pajonal de <i>Paspalum quadrifarium</i> . D. Comunidades psamófilas. E. Praderas saladas de <i>Distichlis</i> spp. F. Espartillar de <i>Sporobolus densiflorus</i> .....	45
Figura N° 3. 1.: Ubicación del área de estudio. ....	51
Figura N° 3. 2.: Representación esquemática de una unidad de análisis hipotética con sus unidades muestrales dispuestas sobre transectas paralelas. ....	58
Figura N° 3. 3.: Análisis de la vegetación. A. Muestreo en transectas. B. Recolección de ejemplares botánicos .....	60
Figura N° 4. 1: Geoformas y principales elementos antrópicos identificados en el área de estudio.....	70
Figura N° 4. 2.: Ubicación de las Unidades de Análisis seleccionadas .....	71
Figura N° 4. 3.: Modelos de Elevación Digital para A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. ....	74
Figura N° 4. 4.: Acumulación de flujo superficial expresado como n° de píxeles que drenan a cada píxel para A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. ....	76
Figura N° 4. 5.: Ubicación de los perfiles de suelos descriptos y de los piezómetros instalados en las Unidades de Análisis 1, 2 y 3. ....	77
Figura N° 4. 6.: Representación esquemática de la topografía y los perfiles de suelos descriptos en la Unidad de Análisis 1.....	88
Figura N° 4. 7.: Representación esquemática de la topografía y los perfiles de suelos descriptos en la Unidad de Análisis 2.....	89
Figura N° 4. 8.: Representación esquemática de la topografía y los perfiles de suelos descriptos en la Unidad de Análisis 3.....	90

<b>Figura N° 4. 9.:</b> Precipitación mensual y nivel freático en los piezómetros instalados para el periodo sep16 - ago17 .....	92
<b>Figura N° 4. 10.:</b> Perfiles topográficos (orientación sudeste-noroeste) para las Unidades de Análisis y niveles freáticos en cada piezómetro para A. septiembre 2016; B. febrero 2017; y C. julio 2017. ....	95
<b>Figura N° 4. 11.:</b> Datos químicos de las muestras de agua extraídas de los piezómetros analizados. A. Ca y Mg (septiembre). B. Ca y Mg (febrero). C. HCO <sub>3</sub> y Na (septiembre). D. HCO <sub>3</sub> y Na (febrero). ....	98
<b>Figura N° 4.11. (continuación):</b> Datos químicos de las muestras de agua extraídas de los piezómetros analizados. E. Cl y SO <sub>4</sub> (septiembre). F. Cl y SO <sub>4</sub> (febrero). G. pH y CE (septiembre). H. pH y CE (febrero).....	97
<b>Figura N° 4. 12.:</b> Unidad de Análisis 1. A. Vista general del pajonal. B. Vista general de la cubeta de deflación. ....	101
<b>Figura N° 4. 13.:</b> Unidad de Análisis 2. A. Vista general de la cubeta de deflación. B. Vista general de la duna de deflación asociada a la cubeta.....	102
<b>Figura N° 4. 14.:</b> Unidad de Análisis 3. A. Vista general de la PACCE. B. Vista general del fragmento de duna parabólica. C. Vista en detalle de un manchón dominado por especies halófitas.....	104
<b>Figura N° 4. 15.:</b> Disposición de las 77 unidades de muestreo seleccionadas. A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. ....	108
<b>Figura N° 4. 16.:</b> Perfiles topográficos de las transectas noreste y sudoeste para A. Unidades de Análisis 1. B. Unidades de Análisis 2. C. Unidades de Análisis 3. ....	109
<b>Figura N° 4. 17.:</b> Variación espacial de la acumulación de agua por flujo superficial para las unidades de muestreo ubicadas en A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. ....	111
<b>Figura N° 4. 18.:</b> Variación espacial en los valores de pH, CE y suelo descubierto para las unidades muestrales de las transectas noreste de cada Unidad de Análisis. ....	113
<b>Figura N° 4. 19.:</b> Variación espacial en los índices riqueza y Shannon-Wiener para las unidades muestrales de las transectas noreste de cada Unidad de Análisis. A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. ....	115
<b>Figura N° 4. 20.:</b> Clasificación jerárquica del total de las unidades muestrales (77). Medida de distancia: coeficiente de similitud de Jaccard. Algoritmo de fusión: <i>Single Linkage</i> .....	116
<b>Figura N° 4. 21.:</b> Clasificación jerárquica de unidades muestrales (60), sin incluir las consideradas intermedias. Medida de distancia: similitud de Jaccard - Algoritmo de fusión: UPGMA. ....	117

<b>Figura N° 4. 22.:</b> Porcentaje de IndVal (respecto al máximo posible) para cada una de las unidades muestrales de A. Grupo 1. B. Grupo 2. C. Grupo 3. D. Grupo 4.....	123
<b>Figura N° 4. 23.:</b> Porcentajes del valor indicador para cada grupo en las unidades muestrales consideradas intermedias. ....	125
<b>Figura N° 4. 24.:</b> Unidades muestrales representadas sobre las dos primeras dimensiones del NM-MDS aplicado sobre la matriz de distancias florísticas, y clasificadas según los grupos de unidades de muestreo conformados previamente.....	126
<b>Figura N° 4. 25.:</b> Unidades muestrales representadas a partir de sus distancias geográficas (m) y clasificadas según los grupos de unidades de muestreo conformados previamente. A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. ....	128
<b>Figura N° 4. 26.:</b> Representación esquemática de la correlación entre las variables originales y los componentes principales 1 y 2. ....	130
<b>Figura N° 4. 27.:</b> Unidades muestrales representadas a partir de sus coordenadas sobre los CP 1 y 2, y clasificadas según los grupos de unidades de muestreo conformados previamente. ....	131
<b>Figura N° 4. 28.:</b> Unidades muestrales clasificadas según la geoforma donde se ubican y graficadas en el espacio florístico construido con NM-MDS. ....	133
<b>Figura N° 4. 29.:</b> Unidades muestrales clasificadas según la geoforma donde se ubican y graficadas en el espacio ambiental.....	133
<b>Figura N° 4. 30.:</b> Duna parabólica y PACCE circundante. A. fragmento en Unidad de Análisis 1. B. fragmento en Unidad de Análisis 3. ....	135
<b>Figura N° 4. 31.:</b> Distancias geográficas y ambientales entre unidades de muestreo de un fragmento la transecta noreste construida en la Unidad de Análisis 1, tomando como punto de partida (0) a la unidad muestral N°6. ....	136
<b>Figura N° 4. 32.:</b> Perfil topográfico de un fragmento de la transecta noreste de la Unidad de Análisis 1, y porcentaje de especies y combinaciones indicadoras (% IndVal) en cada unidad muestral con respecto al total posible para cada grupo definido por composición florística.....	137
<b>Figura N° 4. 33.:</b> Cubeta de deflación. A. Margen Este donde se limita con la duna de deflación. B. Límite Cubeta - PACCE. ....	138
<b>Figura N° 4. 34.:</b> Distancias geográficas y ambientales entre unidades de muestreo de un fragmento la transecta noreste construida en la Unidad de Análisis 2, tomando como inicio la unidad muestral N° 34. ....	141

Figura N° 4. 35.: Perfil topográfico de la transecta noreste de la Unidad de Análisis 2, y porcentaje de especies y combinaciones indicadoras (% IndVal) en cada unidad muestral con respecto al total posible para cada grupo definido por composición florística. ....	142
Figura N° 4. 36.: Geoformas secundarias. A. Microcanal de drenaje. B. Microloma. ...	144
Figura N° 4. 37.: Porcentajes de IndVal para los grupos conformados a partir de datos florísticos con respecto al máximo posible, para cada unidad muestral de la PACCE propiamente dicha. ....	146
Figura N° 4. 38.: Unidades de muestreo de la PACCE graficadas en el espacio ambiental, e identificadas según la geoforma secundaria en la que se localizan.....	148
Figura N° 4. 39.: Distancias geográficas y ambientales entre unidades de muestreo de la transecta sudoeste de la Unidad de Análisis 3, tomando como inicio la unidad de muestreo N°64 .....	149
Figura N° 4. 40.: Perfil topográfico para la transecta noroeste de la Unidad de Análisis 3 y porcentajes de IndVal para los grupos conformados a partir de datos florísticos con respecto al máximo posible, para cada unidad de muestreo ubicada sobre la transecta. ....	150



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2. 1.: Porcentaje de los principales órdenes y Grandes Grupos de suelos en el Complejo Pampa Deprimida .....	32
Tabla N° 2. 2.: Columna hidrogeológica para la Pampa Deprimida .....	39
Tabla N° 2. 3.: Perfil geológico vertical para la cuenca del Azul.....	39
Tabla N° 2. 4.: Características de la vegetación en los Complejos de la Ecorregión Pampa .....	41
Tabla N° 3. 1.: Determinaciones y técnicas utilizadas para el análisis de muestras tomadas de los diferentes horizontes identificados en cada perfil. ....	55
Tabla N° 3. 2.: Determinaciones, métodos y equipos utilizados para el análisis hidroquímico de las muestras de aguas freáticas. ....	56
Tabla N° 4. 1.: Descripción del perfil I.....	78
Tabla N° 4. 2.: Descripción del perfil II.....	79
Tabla N° 4. 3.: Descripción del perfil III .....	80
Tabla N° 4. 4.: Descripción del perfil IV .....	81
Tabla N° 4. 5.: Descripción del perfil V.....	82
Tabla N° 4. 6.: Descripción del perfil VI .....	83
Tabla N° 4. 7.: Descripción del perfil VII .....	84
Tabla N° 4. 8.: Descripción del perfil VIII .....	85
Tabla N° 4. 9.: Descripción del perfil IX .....	86
Tabla N° 4. 10.: Clasificación de los perfiles de suelos de acuerdo con sus valores de pH a distintas profundidades. ....	91
Tabla N° 4. 11.: Correlaciones entre los niveles freáticos en cada piezómetro (periodo sep16 a ago17) .....	93
Tabla N° 4. 12.: Diagramas de Stiff para las muestras de agua freática extraídas de los piezómetros analizados en septiembre 2016 y febrero de 2017. ....	96
Tabla N° 4. 13.: Número y proporción de especies encontradas por unidad de análisis para cada clase, status, hábito, ciclo de vida y familia más representativa. ....	105
Tabla N° 4. 14.: Acumulación potencial de agua por escurrimiento (n° de píxeles que drenan a la unidad) para las unidades muestrales, expresado como promedio, máximo y mínimo para cada Unidad de Análisis. ....	110

Tabla N° 4. 15.: pH, CE y % de suelo descubierto para las unidades de muestreo, expresado como máximo, mínimo y promedio para cada Unidad de Análisis.....	112
Tabla N° 4. 16.: Índices de diversidad alfa promedio, máximo y mínimo para las unidades muestrales incluidas en los grupos 1 a 4, expresados como número de especies efectivas. ....	119
Tabla N° 4. 17.: Frecuencias Relativas en cada grupo de unidades muestrales para las especies candidatas a ser indicadoras. ....	119
Tabla N° 4. 18.: Frecuencias relativas (RFij), abundancias relativas (RAij) y % de valor indicador (IndValij) para diferentes combinaciones de especies en los grupos 2, 3 y 4, a modo de ejemplo. ....	121
Tabla N° 4. 19.: Resultados obtenidos con la aplicación del método IndVal a los grupos de unidades muestrales identificados a partir de datos florísticos.....	122
Tabla N° 4. 20.: Resultado del ACP basado en la matriz de correlación entre 5 variables (pH, CE, % SD, Z y FlowAcc) y 77 casos (unidades muestrales). ....	129
Tabla N° 4. 21.: Coeficientes para cada variable original en los CP 1 y 2. ....	129
Tabla N° 4. 22.: Resultados de la comparación de matrices de distancia mediante la aplicación del test de Mantel.....	132

## RESUMEN

Los paisajes son mosaicos de elementos que a toda escala se organizan formando un patrón, el cual refleja la acción de procesos subyacentes y tiene influencia en procesos ecológicos, manifestándose a través de la distribución asimétrica de los objetos, es decir, de la heterogeneidad. En la Pampa Deprimida, a pesar de los numerosos trabajos que caracterizan la vegetación, las relaciones entre geoformas y comunidades vegetales no se han explorado en detalle, sobre todo respecto al acompañamiento mutuo que se establecería entre las gradaciones geomorfológicas y las ecológicas.

El objetivo general es ajustar el modelo conceptual de la estructura del paisaje en un sector de la cuenca inferior del arroyo del Azul y, específicamente, caracterizando el mosaico paisajístico a partir de su heterogeneidad geomorfológica, hidrológica y florística. El área de estudio abarca la porción más deprimida de la unidad geomorfológica Planicie de Agradación con Costra Calcárea Estratiforme (PACCE), donde las Unidades de Análisis se situaron sobre una transecta perpendicular al eje principal de escurrimiento superficial, linealizado así el gradiente topográfico y de aguas.

La metodología consistió en la caracterización a nivel de Unidades de Análisis y de unidades muestrales. En las primeras, se consideró la topografía construyendo modelos de elevación y redes de drenaje; los suelos se caracterizaron con la descripción de perfiles; el agua freática somera se analizó instalando freatímetros, registrando niveles y extrayendo muestras. La vegetación se describió a partir de la fisonomía y composición florística. Las unidades muestrales se dispusieron cada 50 m en dos transectas paralelas de 700 m (orientación SE-NO). En cada una se consideró la topografía (altura) y el drenaje (n° de píxeles que allí drenan), el suelo (pH, CE, y % descubierto) y la vegetación. Esta última se analizó obteniendo la lista de especies para cada unidad y calculando las distancias florísticas entre ellas, para luego armar clasificaciones que permitan discriminar los grupos más robustos y sitios intermedios. Luego, se aplicó el método IndVal sobre los grupos, y con sus resultados se analizaron los sitios intermedios. Finalmente, se graficaron las distancias florísticas, geográficas y ambientales entre todas las unidades; se interpretó su ubicación y se correlacionaron las matrices de datos.

La PACCE propiamente dicha constituye la matriz del paisaje. Las dunas parabólicas, cubetas de deflación, microlomas y microcanales, son elementos discretos, diferenciables de la matriz por sus características geomorfológicas. La interpretación de perfiles de suelos mostró que no existen discontinuidades en la depositación del material parental, y que las diferencias observadas entre elementos se deben principalmente al relieve. Para las dunas parabólicas y microlomas, se infiere aporte eólico posterior. Los microcanales constituyen geoformas incipientes para las que se infieren episodios de excavación recientes. El escurrimiento superficial a pequeña escala se encuentra condicionado por las dunas y microelevaciones, que modifican las divisorias de aguas y alteran la orientación de los microcanales (hacia el norte). Respecto al agua

subterránea, se deduce la existencia de flujos locales en microcanales y cubetas de deflación, de dirección transversal al flujo regional. La composición iónica estaría condicionada por los procesos de superficie, presentando alta variabilidad en distancias reducidas. Se reconoció un gradiente sureste-noroeste de aumento del contenido de iones y disminución de las alturas, acompañado de mayor proporción de suelos con alcalinidad superficial. Hacia el noroeste aumenta la representatividad espacial de los sectores con estas características.

Se reconocieron 4 de las 5 unidades de vegetación típicas de la Pampa Deprimida, manifestándose una alta tasa de reemplazo de especies en distancias reducidas, acompañado de valores de diversidad alfa heterogéneos. La representatividad espacial de cada asociación es variable, aumentando la proporción de estepas de halófitas hacia el noroeste. Las unidades intermedias presentan especies propias de las praderas húmedas de mesófitas, en concordancia con la alta proporción de ambientes sometidos a anegamientos presentes en el área de estudio. Hacia el noroeste se registró mayor proporción de especies indicadoras para las estepas de halófitas.

La heterogeneidad manifestada en las asociaciones de especies se relaciona con las gradaciones geomorfológicas; la composición florística responde a variaciones locales en topografía y alcalinidad, existiendo alta correlación entre las gradaciones ambientales y florísticas, no así con las geográficas. Las praderas húmedas de mesófitas se ubican en microcanales de drenaje y vías de escurrimiento. Las estepas de halófitas se localizan en posiciones topográficas medias, dentro de la PACCE propiamente dicha. En esta última, todas las unidades de muestreo se clasificaron como estepas de halófitas o sitios intermedios, constituyen un conjunto de sitios con pH alcalino desde superficie y posición topográfica media. Las unidades intermedias en composición florística se localizaron en bordes de cubetas y microcanales, y flancos de dunas y microlomas, manifestándose como zonas de transición con los elementos del paisaje vecinos.

Durante esta investigación, se exhibe cómo los factores que operan en niveles jerárquicos superiores restringen a los inferiores. Al mismo tiempo, los elementos geomorfológicos reconocidos a escalas amplias imponen restricciones ambientales similares a las producidas por aquellos observables en escalas espaciales reducidas.

## **ABSTRACT**

Landscapes are mosaics of elements that, at every scale, are organized forming a pattern, which reflect the action of underlying processes and influence on ecological processes, manifesting through the asymmetric distribution of objects, that is, heterogeneity. In Flooding Pampas, despite many investigations characterized vegetation, the relationships between geoforms and plants communities have not been explored in detail, especially regarding the mutual support that would be established between geomorphological and ecological gradations

The aim of this investigation is to adjust the conceptual model of landscape structure in an area of the lower basin of del Azul creek, specifically, characterizing landscape mosaic from its geomorphological, hydrological and floristic heterogeneity. The study area encompass the most depress sector of the geomorphological unit Aggradation Plain with Stratiform Calcareous Crust (PACCE), where Analysis Units were located on a transect perpendicular to the runoff principal axis, to linearize the topographic and water gradient.

The methodology consists in the characterization at Analysis Units and samples units' level. In the first, the topography was analyzed constructing elevation models and drainage networks; soils were characterized from soil profile descriptions; shallow groundwater was studied installing wells, recording water table levels and extracting samples. Vegetation was described for its physiognomy and floristic composition. Sample units were located every 50 m in two parallel transect of 700 m each (orientation SE-NW). In each one, topography (height), drainage (n° of pixels draining), soil (pH, EC and % without cover) and vegetation were analyzed. The last one was studied obtaining first the complete list of species in each sample unit and calculating floristic distance between them, and secondly constructing classifications that allow the discrimination of more robust groups and intermediated sites. Then, IndVal method was applied to the groups, and the results were used to analyze intermediated sites. Finally, floristic, geographical and environmental distances among all units were plotted; its location was interpreted and data matrixes were correlated.

The aggradation plain properly said constitute landscape matrix. Parabolic dunes, deflation buckets, micro-elevations and micro-channels, are discreet elements, which differ from the matrix for their geomorphological characteristics. Soils profiles interpretation evidenced that there are no discontinuities in parent materials deposition, and that differences observed among elements are principally caused by the relief. In parabolic dunes and micro-elevations infers later Aeolian input. Micro-channels are incipient geoforms for which recent episodes of excavation were inferred. Surface runoff at reduced scales is conditioned by dunes and micro-elevations, which change watershed and altered the orientation of micro-channels (northward). Regard to groundwater, the existence of local flows in micro-channels and deflation buckets is

deduced, with transversal direction to the regional flow. The ionic composition would be conditioned by surface processes, showing high variability in reduce distances. It was recognized a gradient southeast-northwest of increase in ion content and decrease of topographic heights, join by a higher proportion of soils by surface alkalinity. Towards the northwest, sites with these characteristic increase their spatial representativeness.

In the study area, 4 of the 5 vegetation units typical from the Flooding Pampa were recognized, showing a great replacement rate join by heterogenic alpha diversity values. Spatial representativeness of every plant association is variable, increasing the proportion of halophytic steppes towards northwest. Intermediated units present species from humid mesofitic meadows, in accordance with the high proportion of sites which suffer periodic flooding in the study area. Towards northwest, a mayor proportion of indicators species for halophytic steppes were registered.

The heterogeneity that shows plants associations is related with geomorphological gradations; floristic composition responses to local variations in topography and alkalinity, existing high correlation between environmental and floristic gradations, not so with geographical distances. Humid mesophytic meadows are located in micro-channels and preferential ways of runoff. Halophytic steppes are situated in middles topographic positions, inside the aggradation plain properly said. In the last one, all sample units were classified as halophytic steppes or intermediated sites, being a group of sites with alkaline pH in soil surface and middle topographic position. The intermediated units in floristic composition are located in deflations buckets and micro-channels edges, and flanks of dunes and micro-elevations, manifesting as transition zones among neighbor landscape elements.

During this investigation, it displays how factors which operated in superior hierarchical levels restrict the inferior ones. At the same time, geomorphologic elements recognized at large scales impose environmental restrictions similar to those produced by geoforms observed in reduce spatial scales.



## Capítulo N° 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema y preguntas de investigación

El paisaje es un fenómeno multidimensional y multivariado, es decir que se origina y evoluciona por la acción de un conjunto de variables y procesos físicos, bióticos y sociales que se interrelacionan y, por lo tanto, constituye un sistema (Matteucci, 1998 a). Dicho sistema está constituido por un conjunto de elementos que son perceptibles u observables de diversas maneras, como por ejemplo los cuerpos de agua, los afloramientos rocosos, la cobertura vegetal, la forma del relieve, los asentamientos urbanos, y que constituyen el *fenosistema*. A su vez, al caracterizar tales elementos, así como al interpretar su disposición, las relaciones entre ellos y los cambios que sufren en el tiempo y en el espacio, surgen cuestiones referidas a los patrones y procesos subyacentes, como la dinámica geomorfológica y el desarrollo de la red de drenaje, la formación de suelos, entre otros, que conforman lo que se denomina *criptosistema* (González Bernáldez, 1981).

Entender la forma, el comportamiento y el contexto histórico de los paisajes es crucial para la comprensión de sus componentes bióticos. Las geoformas y los procesos geomorfológicos son partes importantes del marco en el cual los paisajes se desarrollan: los procesos geomorfológicos crean geoformas, y las geoformas son límites o fronteras que controlan el arreglo espacial y las tasas de los procesos geomorfológicos y biológicos. La biota responde tanto a las geoformas como a los procesos geomorfológicos, y la historia de éstos puede estar expresada directamente en la composición y la estructura de la vegetación. Los procesos que operan previamente al establecimiento de la biota existente, o aquellos que sutilmente coexisten, son los que pueden tener mayor influencia sobre la misma a través del control de los patrones de las propiedades del suelo en el paisaje. Las Interacciones entre procesos geomorfológicos, geoforma y la biota (esta última, parte del *fenosistema*) ocurren en escalas espaciales y temporales muy variadas, por lo cual se requiere el examen riguroso de dichas interacciones, en múltiples escalas, para una mejor comprensión de los paisajes, su estructura y su funcionamiento (Swanson *et al.*, 1988).

Analizar relaciones recíprocas entre elementos del *fenosistema* y procesos del *criptosistema*, es un desafío que ha sido abordado con distinto grado de profundidad, según las disciplinas involucradas. Las primeras teorías en el ámbito de la Geomorfología y la Ecología fueron más o menos contemporáneas o cercanas en el tiempo, y las ideas en cada campo afectaron al otro fuertemente (Hupp *et al.*, 1995); los primeros investigadores dedicados a la Ecología documentaron el valor de relacionar las formas y procesos geomorfológicos como explicaciones parciales de la distribución de especies (Odum, 1971). Sin embargo, como las dos disciplinas se desarrollaron fuertemente en la segunda mitad del siglo XX, hubo pocos estudios interdisciplinarios que integraran estos



dos campos del conocimiento. Aunque durante la década de 1980 se publicó un gran número de artículos que relacionaron la biota con las formas y los procesos geomorfológicos, solo recientemente se ha resaltado la importancia de los estudios enmarcados en la interfase Ecología-Geomorfología (Hupp *et al.*, 1995), destacando la importancia de los sistemas biológicos sobre los procesos en la superficie terrestre y, a su vez, señalando la dificultad del estudio de las interacciones debido a la mayor complejidad del sistema si se lo compara con el estudio de cada componente aislado (Dietrich, 2008). El obstáculo mencionado anteriormente se exagera aún más por los límites disciplinarios: los investigadores no solo se separan de acuerdo con los procesos y los ambientes que estudian, sino también por las subdisciplinas históricamente delimitadas dentro de cada gran campo del conocimiento.

La vegetación, es uno de los componentes del paisaje de más fácil percepción, por lo que históricamente se ha utilizado como un elemento del *fenosistema* indicador del *criptosistema* (Matteucci y Colma, 1998); tiene la propiedad de ser sésil y tridimensional en escala humana, lo que la diferencia del relieve, muchas veces no perceptible por su gran escala, y del suelo, que a pesar de ser tridimensional se esconde a nuestra vista. Según Hupp & Bornette (2003), la vegetación puede ser usada como una herramienta para la interpretación geomorfológica en al menos dos formas principales: 1. a través del análisis dendrocronológico para estimar el tiempo relativo de eventos geomorfológicos importantes como inundaciones, desprendimientos de masa, y tasas de erosión y sedimentación; y 2. a partir de la documentación y la interpretación de los patrones de distribución de especies que son respuesta de las condiciones hidrogeomorfológicas prevalecientes. El segundo punto es relevante ya que, aunque muchas especies crecen en un amplio rango de ambientes, algunas de ellas solo completan su ciclo de vida en hábitats específicos que pueden ser ampliamente definidos en términos de topografía e interpretados a partir de los procesos geomorfológicos que allí ocurren (Hupp & Osterkamp, 2013). La vegetación, las características geomorfológicas y las condiciones hidrológicas, en regiones húmedas y en muchas con régimen árido y semiárido, están interrelacionadas de forma tal que cualquier cambio en una de ellas afecta a las demás, y todas ellas son influenciadas por la geología subyacente. Los procesos hidrogeomorfológicos pueden ser fuertemente interactivos con la vegetación, la cual estabiliza geoformas, mueve grandes cantidades de agua, y forma un tejido por encima y por debajo del sustrato que afecta la mayor parte de la dinámica hidrogeomorfológica. Los procesos fluviales están influenciados por la geomorfología de la cuenca, la erodabilidad de los sedimentos superficiales, el régimen hidrológico, y la vegetación de la cuenca. En consecuencia, tanto los patrones y procesos geomorfológicos como los propios de la vegetación, en áreas fluviales e interfluviales, pueden ser principalmente dirigidos por el agua, que a su vez, es afectada por ambos a través de circuitos de retroalimentación (Hupp & Osterkamp, 2013).

Debido a la dinámica propia de los sistemas naturales, el cambio en las formas del terreno que resulta de vinculaciones entre los flujos de agua, sedimentos y vegetación es un proceso sumamente complejo, que opera en un amplio rango de escalas espaciales y temporales (Hardy, 2006). Las investigaciones en torno a entender el acoplamiento entre los procesos biológicos y físicos han aumentado exponencialmente en los últimos años, ya que se consideran esenciales para entender la estructura y el funcionamiento de muchos paisajes (Murray & Fonstad, 2007).

En este mismo sentido, avances recientes en el análisis de las interacciones entre las geoformas y la vegetación, han sido evaluados por Cully Hession *et al.* (2010), quienes los organizaron alrededor de la estructura de una cuenca, es decir, de acuerdo al sitio dentro del sistema hidrológico en que dichos análisis se han llevado a cabo. Así, estos autores destacan estudios en zonas altas con pendientes pronunciadas (por ejemplo, Marston, 2010; Ravi *et al.*, 2010; Yetemen *et al.*, 2010), en llanuras de inundación de grandes ríos (Marchetti *et al.*, 2013; Osterkamp & Hupp, 2010), y en el cauce de canales fluviales (Curran, 2010; Pizzuto *et al.*, 2010). Ninguno de ellos ha abordado estos aspectos en la matriz tendida del sector inferior de una cuenca de llanura.

La cuenca inferior del arroyo del Azul, área de estudio elegida para el presente trabajo, al igual que el resto de la Pampa Deprimida, es una amplia llanura agradacional cuya cubierta sedimentaria ha sido interpretada tradicionalmente como material de origen eólico (loess), caracterizada por la extrema horizontalidad de su paisaje (Tricart, 1973; Zárate, 2003). En escala local las geoformas destacadas incluyen numerosas cubetas de deflación con médanos asociados actualmente ocupadas por cuerpos de agua, y médanos longitudinales y parabólicos de longitud kilométrica poco perceptibles en el campo (Tricart, 1973; Martínez, 1998), además de la existencia de extensas zonas de derrame con formas similares a conos aluviales (Tricart, 1973; Fidalgo, 1983). Desde el punto de vista ecológico, la región se encuentra ocupada por pastizales naturales, conformando un mosaico de comunidades vegetales, con una gran diversidad de plantas nativas y exóticas. Estos pastizales han sido analizados a partir del método fitosociológico clásico (León *et al.*, 1979; Entraigas *et al.*, 2011), utilizando técnicas multivariadas (Perelman *et al.*, 2001) considerando su relación con la fisiografía (Burkart *et al.*, 1990; Valicenti *et al.*, 2000); y su asociación con variables edáficas (Batista *et al.*, 2005; Migueltoarena *et al.*, 2011a). En escalas de mayor detalle, existen trabajos que caracterizan la vegetación de geoformas particulares, como lagunas y cursos de agua (Vervoorst, 1967; Scaramuzzino *et al.*, 2010), mientras que otros estudios analizan la influencia del pastoreo o el régimen de disturbios sobre determinadas comunidades vegetales (Chaneton *et al.*, 1988; Chaneton, 2005; Insausti & Soriano, 1987; Insausti *et al.*, 2005).

Dado que los paisajes conforman mosaicos ambientales, la estructura, la función y el cambio que presentan son escala-dependiente y, por esa misma razón, es que el patrón

espacial y la heterogeneidad dependen de la escala a la cual se hacen las observaciones y las mediciones. En el estudio de patrones y procesos los fenómenos deben ser rastreados a través de las distintas escalas, teniendo en cuenta las jerarquías que operan en el paisaje. En este proyecto de investigación participan variables de distinta naturaleza y que trabajan a diferentes escalas, pero que se reflejan de manera conjunta en un determinado proceso que se pretende estudiar. A pesar de los numerosos trabajos que caracterizan la heterogeneidad de la vegetación en la región, las relaciones entre las geoformas reconocidas y las comunidades vegetales no han sido exploradas en detalle, sobre todo en lo que se refiere al acompañamiento mutuo que se establecería entre las gradaciones geomorfológicas y las ecológicas.

Es por esto que en el presente trabajo, en una primera etapa, se intentará relacionar las características geomorfológicas y ecológicas de los elementos del paisaje reconocidos, para intentar responder *cómo se relacionan las características geomorfológicas con las comunidades vegetales en el sector más llano de la cuenca del arroyo del Azul*. Posteriormente, considerando que los estudios de la heterogeneidad de la vegetación en la región no se han llevado adelante contemplando un marco integral del paisaje, surge el interés por saber *cómo son las transiciones entre elementos del paisaje reconocidos a escala de detalle, y si es factible utilizar a la vegetación como indicadora de las propiedades topográficas, edafológicas e hidrológicas del paisaje*.

## 1.2. Marco teórico-conceptual

### 1.2.1. Los sistemas complejos

A partir de la segunda mitad del siglo XX, con el desarrollo de la teoría general de sistemas (Bertalanffy, 1968), las teorías del caos y de la complejidad (Lewin, 1995), el modelo del orden a través de las fluctuaciones (Prigogine, 1972-82), el concepto de homeorhesis (Waddington, 1975), entre otras cuestiones, se produjo un cambio importante en la concepción del mundo que significó una verdadera revolución en cuanto a la cosmovisión de la naturaleza. La ciencia dejó de manejarse con tendencias extrapoladas que asumen que las condiciones son estables, adoptando una nueva visión que propone que las leyes, ya sean naturales o de la historia, no necesariamente especifican un hecho único, sino que pueden ser probabilísticas y proporcionar los fundamentos para grandes conjuntos de hechos, ninguno de los cuales es más probable que otro. En el campo de las ciencias ambientales, los trabajos descriptivos dieron lugar a enfoques dinámicos, ubicando en primer plano a los procesos y desplazando a los objetos del centro de estudio (Matteucci, 1998 b), cobrando importancia el concepto de autoorganización de los sistemas naturales físicos y la idea de que éstos no operan en el ámbito de la termodinámica clásica de sistemas en equilibrio, sino en situaciones

alejadas del mismo, por lo que pueden ser comprendidos de forma más adecuada por las leyes de la termodinámica de los procesos irreversibles.

Un sistema complejo es un sistema formado por un gran número de elementos simples, que interactúan entre sí, capaces de intercambiar información entre ellos y el entorno, y, a su vez, de adaptar su estructura interna como consecuencia de tales interacciones. Todos los sistemas complejos poseen características comunes: tienen gran cantidad de elementos constituyentes, poseen un desorden estructural intrínseco, las características asincrónicas o aleatorias de las interacciones pueden presentar el fenómeno de frustración (pueden existir configuraciones del sistema que no satisfagan todas las interacciones simultáneamente) y, son incapaces de arribar a un equilibrio estático e inmutable. No obstante, en un nivel macroscópico, pueden exhibir una estabilidad robusta, que en el orden microscópico se traduce en equilibrio dinámico en constante evolución. Estas propiedades son las responsables de una gran riqueza de comportamientos emergentes coherentes que se manifiestan bajo la forma de interesantes estructuras macroscópicas dignas de ser estudiadas. Esto significa que los comportamientos emergentes resultantes no pueden ser atribuidos a cada componente por sí solo, sino que son consecuencia de la acción cooperativa entre todos ellos (Schuschny, 1998).

Las Ciencias de la Complejidad brindan un nuevo enfoque decididamente opuesto al reduccionismo que supone que los fenómenos naturales son comprensibles si se los reduce a entidades más sencillas. Estas, por el contrario, entienden a la naturaleza como formada por entes abiertos en constante evolución, y consideran que la realidad se halla entre el azar y el determinismo. La complejidad, al igual que la no linealidad, el caos determinístico, la percolación y los fenómenos críticos en general, constituyen un marco que expresa un nuevo instrumento conceptual de gran relevancia en la cosmovisión epistemológica que se tiene de la realidad. Se podría decir que un sistema complejo es un sistema aparentemente desordenado, tras el cual se supone existe un orden encubierto y, en principio, desconocido, por lo tanto digno de ser estudiado. Un sistema es complejo cuando se manifiestan en él interacciones mutuas entre niveles diferentes (Schuschny, 1998).

Desde esta nueva concepción de la naturaleza, entonces, se entiende que los biosistemas cambian a través del tiempo en un espacio multidimensional como sistemas localmente inestables pero globalmente estables: grandes perturbaciones pueden empujarlos hacia vías evolutivas diversas, por lo que surge el concepto de dominios múltiples de equilibrio y se adopta el concepto de bifurcación. Las bifurcaciones se desencadenan cuando sistemas complejos son empujados más allá de su umbral de estabilidad: hasta ese punto el comportamiento es relativamente ordenado, experimentándose oscilaciones periódicas, pero más allá del punto crítico ese orden se destruye y el sistema cae en el caos, haciendo que su comportamiento ya no sea

predecible (aunque tampoco es enteramente azaroso) y generando un caos que da paso a una nueva variedad de orden. Así, la evolución de los sistemas complejos es fuertemente no lineal, resultando imposible predecir qué camino tomará una bifurcación ya que el proceso no está determinado ni por la historia pasada de los sistemas ni por su entorno, sino por la interacción de las fluctuaciones más o menos aleatorias que experimentan (Matteucci, 1998 b).

Por definición, los estudios realizados sobre los sistemas complejos no pueden permanecer confinados a una disciplina sino que requieren, y de hecho se valen, del conocimiento, las técnicas y las metodologías de trabajo provenientes de muy diversas áreas del conocimiento científico. Las ciencias de la complejidad emergen como parte de una síntesis de algunas disciplinas tradicionales, incluyendo la física, la biología, las matemáticas y las ciencias de la computación.

### **1.2.2. El paisaje como sistema complejo, jerárquico y heterogéneo**

Un ecosistema puede definirse como el área relativamente homogénea de organismos interactuando entre sí y con su medio ambiente, siendo la comunidad de seres vivos el componente principal, que interacciona con los factores abióticos; sin los seres vivos no existe el ecosistema. El concepto puede ser aplicado a diversas escalas espaciales mientras se mantenga la homogeneidad de la comunidad biológica, aunque en la práctica se aplica principalmente a los sistemas ecológicos en escala local donde los flujos dominantes son los de integración vertical (Christofolletti, 1998).

Históricamente, la Ecología Tradicional se ha ocupado del estudio de los diversos procesos de la naturaleza en sentido vertical, es decir, analizando procesos ecológicos sin referencia a las relaciones espaciales del sistema que se estudia. Más aun, los ecólogos han hecho esfuerzos por ubicar sus sitios de muestreo en áreas homogéneas, para obviar el ruido producido por la variación espacial. Sin embargo, desde hace un par de décadas, se acepta en forma general que este ruido es parte integrante del ecosistema natural, y que los procesos varían espacial y temporalmente (Matteucci, 1998 c). El ecólogo Carl Troll, pionero en el reconocimiento del componente espacial y temporal, definió a la Ecología del Paisaje como el estudio de las relaciones físico-biológicas que gobiernan las diferentes unidades espaciales de una región, siendo una rama de la ciencia que explora cómo las combinaciones heterogéneas de ecosistemas están estructuradas, además de cómo funcionan y cómo cambian (Forman & Godron, 1986).

Desde la inclusión de los factores espaciales y temporales, entonces, ha emergido la Ecología del Paisaje, una ciencia por definición transdisciplinaria que se ocupa del estudio de los efectos recíprocos de los patrones espaciales en los procesos ecológicos, promoviendo el desarrollo de modelos y teorías acerca de las relaciones espaciales, la

colección de nuevos tipos de datos sobre patrones y dinámica espacial, y el análisis de escalas espaciales raramente abordadas en la Ecología Tradicional (Pickett & Cadenasso, 1995). Así es que, en contraste con esta última, considera a la heterogeneidad espacial como un factor causal medular en los sistemas ecológicos. La sociedad humana es el eje central del análisis, ya que las investigaciones ecológicas están orientadas a la solución de problemas ambientales prácticos, constituyéndose como una ciencia prescriptiva y predictiva (Naveh & Lieberman, 1994). La Ecología del Paisaje está motivada por la necesidad de entender el desarrollo y la dinámica de los patrones en los fenómenos ecológicos, el rol de los disturbios en los ecosistemas, y las escalas espaciales y temporales características de los eventos ecológicos. Justamente los patrones, generados por procesos en escalas variadas, son el sello distintivo de un paisaje (Urban *et al.*, 1987).

Existen numerosas definiciones del paisaje desde diferentes enfoques culturales y científicos (Farina, 2006): es un área heterogénea de la Tierra compuesta por un conglomerado de ecosistemas interactuantes, que se repite en forma similar a través de la región (Forman & Godron, 1986); una configuración particular de topografía, cobertura vegetal, uso de la tierra y patrón espacial que delimita alguna coherencia de procesos y actividades naturales y culturales (Green *et al.*, 1996); una unidad del nivel regional, ecológicamente más uniforme, un mosaico donde la mezcla de ecosistemas locales y usos de la tierra se repite en forma similar a escala de kilómetros (Forman, 1995); un mosaico heterogéneo de tipos geomorfológicos, tipos de vegetación y tipos de uso de la tierra (Urban *et al.*, 1987); un área espacialmente heterogénea, a la escala de los organismos y/o procesos de interés (Turner *et al.*, 2001). Algunos investigadores consideran el paisaje como un ecosistema grande complejo; otros como un conjunto de ecosistemas pero, en realidad la diferencia proviene, justamente, de la escala a la cual trabajan: en la práctica, su delimitación es arbitraria y depende de los criterios usados para su identificación y de los objetivos para los cuales se delimita (Matteucci, 1998 c). A pesar de la gran cantidad de concepciones, todas coinciden en que es heterogéneo, pudiéndose distinguir componentes diversos.

Los paisajes están compuestos por unidades menores, denominadas elementos del paisaje o parches que son unidades discretas y limitadas que se diferencian por su estructura biótica y abiótica o por su composición. Un parche predominante y continuo o un tipo de cobertura actúan como matriz en la que aparecen los demás parches (Pickett & Cadenasso, 1995). A su vez, el paisaje es un elemento de la región, siendo esta última un conjunto de paisajes que forman un patrón no recurrente, de grano grueso y alto contraste (Forman, 1995). Según otras acepciones, la región es un área geográfica grande que tiene un macroclima y una esfera de actividad e intereses humanos comunes, con una gran cohesión interna, ya que sus elementos están unidos fuertemente por el transporte, la comunicación y la cultura, aunque con frecuencia es ecológicamente diversa.

El paisaje tiene tres características que lo definen (Forman & Godron, 1986): estructura, función y cambio. La estructura se refiere a las relaciones espaciales entre los parches que lo conforman y estudia los tamaños, formas, cantidades, clases y configuraciones de los elementos y su arreglo espacial. La función comprende el conjunto de interacciones entre los elementos del paisaje, que se manifiesta en los flujos de energía, materia e información entre ellos; los flujos son, a su vez, modificados por el tamaño y la forma de los elementos y la distancia entre ellos. Los espacios no son estáticos, ni en estructura ni en función. El cambio es una propiedad importante que incluye el componente temporal en el análisis, reconociendo las modificaciones que sufren los paisajes en estructura y función con el tiempo (Matteucci, 1998 a y c). Estructura, función y cambio están estrechamente relacionados: de la estructura del paisaje depende la resistencia y también la facilidad con que se produce el flujo de materiales y organismos, así como la transmisión de las perturbaciones naturales o antropogénicas.

La Ecología del Paisaje, al reconocer la heterogeneidad espacial y temporal de los sistemas ecológicos, encuentra parte de sus fundamentos en la Teoría de Jerarquías, la cual parte de la premisa de que todos los sistemas biológicos, desde la célula aislada hasta la biosfera, son sistemas complejos no lineales que comparten tres propiedades importantes: están estructurados jerárquicamente; están lejos del equilibrio; y son metaestables (Matteucci, 1998 b). La Teoría de Jerarquías representa una teoría muy útil para explorar muchos patrones y procesos a través de diferentes escalas espacio-temporales. Considerando a la complejidad como un atributo intrínseco del paisaje, el paradigma de la jerarquía explica cómo los diferentes componentes, localizados en una determinada escala, están en contacto con los otros componentes visibles en escalas de resolución diferentes (Farina, 2006). La complejidad es una parte fundamental del concepto de jerarquía. Cuantos más componentes estén incluidos en un sistema, más complejo se vuelve el sistema. Por esta razón, podemos considerar al paisaje como un sistema muy complejo.

El modelo jerárquico surge de la aplicación ecológica del axioma holístico *el todo es más que la suma de sus partes*, expresado por primera vez a principios del siglo XX e introducido a la Ecología hacia 1950 por Egler. De acuerdo con este concepto, el universo es un todo organizado con una estructura jerárquica, en la cual cada nivel es un sistema formado por subsistemas del nivel jerárquico inferior y propiedades nuevas emergentes que surgen de las interrelaciones entre esos subsistemas. Más tarde se profundizó esa idea (Kostler, 1969), agregando que ni las partes ni el todo existen en sentido absoluto en ningún dominio: la realidad concreta existe como una serie de niveles en orden ascendente de complejidad, cada uno de los cuales tiene dos caras que miran en direcciones opuestas. La cara que mira hacia el nivel inferior es la del todo autónomo y la que mira hacia el nivel superior es la de las partes dependientes; cada

nivel de doble cara es llamado holón. La importancia de este concepto estriba en que inició una nueva manera de ver y analizar los fenómenos naturales, que perdura hasta hoy y constituye un eslabón entre el holismo y el reduccionismo. Un nivel no puede ser considerado como un organismo a partir de las propiedades emergentes, prescindiendo del conocimiento de las partes o subsistemas que lo conforman, como lo sugiere el holismo, ni tampoco puede comprenderse el nivel como la suma de sus partes, sin consideración de las interacciones entre ellas, como pretende el reduccionismo. Sin embargo el todo puede disectarse en las partes, que son los holones del nivel inferior, para analizarlo, para explicar su funcionamiento y predecir el efecto de acciones sobre el sistema (Matteucci, 1998 a).

Los sistemas jerárquicamente organizados, entonces, pueden ser divididos o descompuestos en componentes discretos funcionales que operan en diferentes escalas. El paradigma jerárquico provee directrices para definir los componentes funcionales de un sistema, y define las formas en que los componentes en diferentes escalas se relacionan unos con otros. Sin embargo, los fenómenos naturales no pueden ser perfectamente descompuestos: los límites espaciales pueden ser difíciles de definir perfectamente y los componentes suelen interactuar.

Cada uno de los niveles jerárquicos en la naturaleza cumple varias leyes: 1. Cada nivel organiza el nivel inferior más las cualidades emergentes. 2. La complejidad de los niveles se incrementa desde la jerarquía inferior hacia la superior. 3. El nivel superior depende del inferior. 4. Cuanto mayor es el nivel, mayores son sus restricciones. 5. Es imposible reducir el nivel superior al inferior. 6. El objetivo de estudio, cualquiera sea el nivel, debe contener los objetos del nivel inferior y debe ser parte de los objetos del nivel superior. Así, cada objeto de un nivel constituye el entorno inmediato de los objetos del nivel inferior, y cada objeto es una parte estructural funcional específica del objeto del nivel superior (Naveh & Lieberman, 1994).

Los componentes de un sistema jerárquico están organizados en niveles de acuerdo con su escala funcional, esto es, los eventos en una escala dada tienen una frecuencia natural característica y, típicamente, una correspondiente escala espacial. En general, los eventos de los niveles más bajos son comparativamente pequeños y rápidos, mientras que los comportamientos en los niveles superiores son más amplios y lentos. En cada nivel, los componentes similares que interactúan se convierten en los agregados funcionales del próximo nivel superior. Esto es una jerarquía estructurada, ya que los componentes de un agregado interactúan más frecuente y fuertemente entre ellos que con los componentes de otros agregados. Esta regla define la estructura horizontal (al interior de los niveles) así como la vertical (entre niveles) de un sistema jerárquico. Las interacciones entre componentes de un nivel generan comportamientos en el nivel superior siguiente. Cada parche, en cualquier nivel, es a la vez un todo integrado y un componente de nivel superior (Urban *et al.*, 1987).



Los paisajes tienen un tipo especial de estructura vertical: están espacialmente anidados. Los niveles en una jerarquía anidada pueden coincidir cuando son definidos por una variedad de criterios ordenados o de atributos medibles. La estructura jerárquica anidada especifica el contexto para los comportamientos de niveles inferiores. Colectivamente, las restricciones proveen el contexto que permite darle sentido a lo que observamos en un lugar en un determinado momento. En general, cuanto más restricciones consideremos en un nivel que son relevantes para un criterio, mayor será nuestro poder predictivo. En consecuencia, para entender un sistema complejo y jerárquicamente organizado debemos considerar múltiples niveles: el nivel de referencia es la escala a la cual el fenómeno es observado como un evento de interés; una vez especificado, el evento tiene su explicación mecánica en el nivel inferior más próximo, y su significancia en el contexto de las restricciones de niveles superiores (Urban *et al.*, 1987).

Considerando las jerarquías en un sistema complejo bajo estudio, es posible aislar el fenómeno de interés. Un componente en un nivel dado de una jerarquía experimenta como variables solo aquellos patrones que están escalados en velocidades y tamaños similares. Por comparación, la dinámica de los niveles inferiores es tan rápida que es experimentada como un promedio de sus valores; y la dinámica de los niveles superiores es muy lenta para ser experimentada como variables. En consecuencia, la complejidad de la dinámica y los patrones espaciales en múltiples escalas se resuelve en unas pocas variables y en una serie de constantes, definidas en forma relativa al nivel de referencia. Una consecuencia poderosa del paradigma de jerarquías es que permite a los investigadores enfocarse en un evento en una escala particular, al mismo tiempo que se reconoce la existencia de otras escalas relevantes para este evento. Cuando se describe un evento, su escala característica determina la frecuencia y escala de muestreo apropiada. El nivel próximo inferior provee los componentes del evento y su explicación mecanicista. Los niveles superiores proveen el contexto que le da al evento mayor significancia, y sus características o factores pueden ser tratados como constantes cuando son vistos desde el nivel de referencia.

A pesar de la individualidad espacial del paisaje, y del hecho reconocido de que ningún paisaje es estrictamente igual a otro, la Ecología, tradicionalmente, se basó en el hallazgo de espacios homogéneos. La homogeneidad es la consecuencia de la repetición de cierto número de formas, que determina que cada uno de los sitios constituyentes presente características más cercanas entre sí. La homogeneidad puede estar dada por un atributo que imprime un carácter determinante al paisaje (formación vegetal, topografía) o por una determinada forma de ocupación (cinturón de maíz, terrazas arroceras). El concepto es ambiguo: toda porción de la tierra puede pertenecer a varios

espacios homogéneos y es el investigador quien, en función de sus objetivos, determina los criterios de homogeneidad (Matteucci, 1998 a).

La búsqueda de áreas homogéneas resulta contradictoria si se considera que los paisajes son sistemas complejos que muestran patrones diferentes de acuerdo con la escala de observación o el nivel de percepción con el que se estudien, y en los cuales la heterogeneidad es la principal característica de los mencionados patrones que exhiben. La heterogeneidad, entonces, es una característica inherente al mosaico paisajístico, que puede ser definida como la distribución asimétrica, no aleatoria de los objetos (Forman, 1995). El análisis de este patrón tiene importancia fundamental en el entendimiento de la gran mayoría de los procesos ecológicos y del funcionamiento de sistemas complejos como los paisajes. Heterogeneidad y diversidad son dos conceptos relacionados en Ecología del Paisaje, pero mientras la diversidad describe las diferentes cualidades de los parches, la heterogeneidad representa la complejidad espacial del mosaico.

En el estudio de los paisajes pueden considerarse, tres tipos de heterogeneidad (Farina, 2006): heterogeneidad espacial (variabilidad y complejidad de las propiedades del sistema entre un punto y otro, ya sea en sentido horizontal y/o vertical); temporal (diferencias en las propiedades del sistema en un punto respecto del tiempo) y funcional (variaciones de las entidades ecológicas). Las propiedades del sistema pueden ser los nutrientes del suelo, el mosaico de parches, la biomasa aérea, la distribución de animales, etc. La heterogeneidad crea bordes, márgenes y contrastes entre parches diferentes, y este patrón, a su vez, genera nuevos procesos. Heterogeneidad significa que hay al menos dos tipos de parches que difieren en su aptitud, y al mismo tiempo los parches se pueden definir como discontinuidades en los estados de las características ambientales de interés.

Los conceptos de homogeneidad y heterogeneidad carecen de sentido si se los desvincula de la escala de observación o nivel de percepción, ya que los niveles jerárquicos del espacio varían según la escala del estudio. Al cambiar el nivel de percepción, los fenómenos cambian no solo de magnitud, sino también de naturaleza: ciertos fenómenos solo son inteligibles a determinado nivel de percepción, por lo cual es necesario elegir éste en concordancia con los objetivos del estudio. Ambos conceptos son aplicables a todas las escalas del paisaje: un sistema puede ser más o menos heterogéneo de acuerdo con la resolución espacial a la cual es observado (Matteucci, 1998 a).

Los paisajes, entonces, a toda escala son mosaicos de teselas de tamaños, formas y contenidos diversos, que se organizan formando un patrón, el cual refleja la acción de procesos ecológicos subyacentes y tiene influencia en muchos procesos ecológicos. La definición más general de "patrón" dice que es el arreglo espacial o temporal de la variable que se estudia. Hay dos propiedades importantes del patrón (Pielou, 1977): la

intensidad y el grano. Intensidad es el grado en que la variable varía de sitio a sitio; el grano tiene que ver con el tamaño de las unidades del patrón (parches) y es independiente de la intensidad. El patrón espacial de un objeto puede ser aleatorio (si la probabilidad de encontrar un valor dado es igual en todos los sitios), contagioso (si los objetos o componentes se agrupan formando parches) o regular (si los objetos, de tamaños parecidos, se distribuyen a distancias uniformes en el espacio), siendo los patrones contagiosos los de mayor interés ecológico. Al mismo tiempo, muchos patrones son recurrentes, es decir, la estructura espacial se repite dentro del área de estudio.

El origen del patrón del paisaje en mosaicos es diverso: los parches pueden surgir a causa de disturbios naturales o antrópicos, por fragmentación o regeneración de un tipo de cobertura, por diferencias persistentes en los recursos ambientales, o por introducciones humanas (Pickett & Cadenasso, 1995). Según Urban *et al.* (1987), los agentes de formación de los patrones en los paisajes naturales pueden ser de tres tipos: disturbios, procesos bióticos y restricciones ambientales, cada uno de los cuales puede ser considerado a través de un amplio espectro de escalas espaciales y temporales, pudiendo estar a su vez entrelazados en el desarrollo del paisaje. Los nuevos parches están continuamente superpuestos a los preexistentes, formándose a diferentes tiempos y en distintos lugares: el escenario emergente es un mosaico de parches de tamaños variados, con diversos orígenes, en varios estados de regeneración, aproximándose al equilibrio microambiental a diferentes velocidades. Los tres agentes de formación (disturbios, procesos demográficos y restricciones ambientales), están implícitamente escalados. En todos estos fenómenos, hay tendencia a la correlación positiva en tiempo y espacio, pero además suele haber acoplamientos débiles entre las generalizaciones de los eventos a gran escala y los detalles en escala fina del fenómeno. Una consecuencia fundamental de la estructura jerárquica es que los eventos que generan los patrones en una escala pueden ser incorporados en los comportamientos de nivel superior. A través de esta incorporación, la heterogeneidad espacial en una escala puede ser trasladada como en equilibrio o constante a los niveles superiores.

Un concepto importante para la Ecología del Paisaje, ligado al de heterogeneidad y escala de observación, es el concepto de límite, cuyo trazado es indispensable para conocer la organización de los paisajes a toda escala. El límite puede ser fácilmente perceptible o difícil de establecer, pero en cualquier caso se trata de una franja de ancho variable en la cual se pasa de un sistema a otro a través de transiciones más o menos visibles. A todo nivel de percepción, la trama de límites interviene para dividir la tierra en porciones más homogéneas que el conjunto (Matteucci, 1998 a).

Como se mencionó anteriormente, los parches son considerados entidades diferentes de su entorno, y su reconocimiento obliga a identificar también sus límites. Éstos, definen las relaciones entre un sistema y su entorno permitiendo la aparición de diversidad,

estructura espacial y organismos vivos capaces de retener y transmitir información (Rubert de Ventós, 2006), presentando las características de los sistemas complejos y multidimensionales. Al igual que ocurre con los demás elementos del paisaje, la identificación de límites depende de la pregunta de investigación, del marco conceptual adoptado por los investigadores y de la escala de trabajo, siendo su detección fundamental para diferenciar entre entidades biológicas (Cadenasso *et al.*, 2003).

Por su parte, el término ecotono fue inicialmente utilizado por Clements (1905) para nombrar a las zonas de tensión donde las principales especies de las comunidades adyacentes encuentran su límite. Más tarde, Odum (1959) nuevamente resaltó la importancia de definir las zonas de transición entre dos comunidades. Di Castri *et al.* (1988) definen a los ecotonos como “zonas de transición entre sistemas ecológicos adyacentes, teniendo un conjunto de características únicas definidas por escalas espaciales y temporales, y por la magnitud de las interacciones entre los sistemas ecológicos adyacentes”. En sentido estricto, un ecotono es una zona de tensión o diferencia brusca entre las comunidades separadas, a diferencia de una ecoclina, que se define como una zona de cambios graduales donde los patrones espaciales son de grano fino y aparecen límites sinuosos entre las comunidades adyacentes. A pesar de esto, la diferencia semántica entre los dos términos no se utiliza actualmente y el concepto de ecotono es el predominante, ya sea para referirse tanto a transiciones graduales como a bruscas (Hansen & Di Castri, 1992). Los ecotonos pueden considerarse compuestos por grupos de fronteras ecológicas o zonas de cambio entre comunidades distintas (Fortin, 1994; 1997; Cadenasso *et al.*, 2003). Una frontera es una línea o superficie que une puntos donde los gradientes muestran pendientes máximas; es una estructura espacial y por tanto puede registrar en su forma procesos pasados subyacentes (Margalef, 1991). Existen desde fronteras lineales, bruscas y bien conectadas, propias de un ecotono en sentido estricto, hasta fronteras zonales de transición.

Los ecotonos están situados donde la tasa y la dimensión de las transferencias ecológicas tienen un cambio abrupto comparado con el comportamiento al interior de los parches. Una comunidad ecotonal tiene especies en común con ambas comunidades que se superponen, presentando organismos típicos de las zonas marginales o de borde, y teniendo en general alta diversidad biológica y elevada tasa de productividad primaria y secundaria, causado por el denominado *efecto de borde* (Farina, 2006). Autores como Smith *et al.* (1997) le atribuyen a los ecotonos el rol de generadores de biodiversidad, por ser considerados fuentes de novedades evolutivas. Los ecotonos pueden ser considerados como hábitats verdaderos, pero también como hábitats fronterizos, donde la superposición de hábitats amplía la diversidad de especies. Forman & Moore (1992) afirman que actúan como membranas celulares, funcionando a modo de filtros que aseguran transportes activos y pasivos de acuerdo con los flujos de energía y los tipos de materiales.

Al igual que otros elementos del paisaje, los ecotonos existen en todas las escalas espaciales y temporales, son tridimensionales, y son creados y mantenidos por una jerarquía de factores de tensión tales como la dinámica de las masas de aire, la megatopografía, la geomorfología local, los disturbios, la competencia, el crecimiento y el desarrollo vegetal, etc. Pueden ser actuales, o dejar de estar operativos para los procesos estudiados y considerarse como barreras relictuales, lo cual es difícil de determinar por la superposición de procesos activos y pasados. Además, los ecotonos pueden ser diferentes en ubicación y magnitud de acuerdo con las características que se seleccionen para su definición (Farina, 2006; Cadenasso *et al.*, 2003). Estudiar los ecotonos, donde el intercambio de materia, energía e informaciones de alto nivel, requiere un enfoque sistémico, típico de la Ecología del Paisaje. De hecho, la diversidad y abundancia de especies, los flujos y acumulación de materiales y energía, y la difusión de los disturbios, están fuertemente influenciados por los bordes del mosaico paisajístico, por lo que el funcionamiento de los paisajes necesita ecotonos, dando a estas estructuras un rol central para la comprensión de los procesos ecológicos. Se los considera estructuras claves para el funcionamiento de los paisajes ya que, a pesar del reducido espacio que ocupan en el mosaico paisajístico, contribuyen a regular los flujos de nutrientes, agua, esporas, semillas, animales, etc. a través de espacios heterogéneos (Farina, 2006; Camarero & Fortin, 2006).

### 1.2.3. Las comunidades vegetales

Vegetación es un término muy amplio que se refiere a la manifestación de las plantas sobre la superficie terrestre, y suele utilizarse para referirse al conjunto de plantas que forman parte de un ecosistema en un sitio dado. La misma es el resultado de factores ambientales actuando sobre el pool genético disponible, por lo que refleja características del suelo, el clima, factores bióticos y antropogénicos, además del paso del tiempo (Matteucci & Colma, 1998).

La comunidad vegetal es una abstracción, al igual que las poblaciones; simplemente consiste en todas las plantas que ocupan un área que los ecólogos circunscriben para su estudio (Crawley, 1996). Desde el comienzo de la Ecología Cuantitativa, la definición de comunidad ha traído dificultades prácticas, y posiciones contrapuestas acerca de la naturaleza de las comunidades en sí mismas. Las opiniones más polarizadas se encuentran representadas por las visiones de los ecólogos americanos Frederic E. Clements y Henry A. Gleason: Clements (1916; 1928) consideraba a las comunidades como sistemas integrados con numerosas propiedades emergentes, y propuso que su naturaleza está determinada principalmente por el clima, asumiendo que las formaciones vegetales son entidades orgánicas que surgen, crecen, maduran y mueren. Por el contrario, Gleason postulaba el concepto individualista de las comunidades vegetales, considerando que son ensambles aleatorios de especies adaptadas producto

de la juxtaposición de las plantas individuales. La síntesis moderna es bastante cercana a la visión de Gleason (1917; 1926; 1927): no concibe a las comunidades como super-organismos, pero reconoce la complejidad de las interacciones ecológicas sin excluir la posibilidad de que las comunidades desplieguen propiedades emergentes. La pregunta fundamental no es si hay tipos identificables de comunidades, sino hasta qué punto las interacciones biológicas influyen sobre su estructura, comparadas con las limitaciones impuestas por el ambiente físico (Crawley, 1996). Consecuentemente, la distribución de la vegetación en el tiempo y el espacio debe ser considerada de forma simultánea, ya que la composición y el desarrollo de la vegetación es parcialmente estocástico y parcialmente determinado por la capacidad de auto-modificación de un sistema dinámico. Las plantas interactúan a través del ambiente, y las interacciones netas determinan las propiedades del sistema (Roberts, 1987).

Goodall (1963) sentó las bases para un modelo sistémico dinámico de la vegetación a partir de caracterizar dos espacios complementarios n-dimensionales: el primero es el de la composición de especies, donde cada especie define un eje, y cada uno de estos es escalado de acuerdo con alguna medida de la abundancia; el segundo es el espacio del ambiente donde cada eje corresponde a un factor físico del sitio y es escalado de acuerdo con la medición apropiada de cada factor. La amplitud ecológica de cada especie, entonces, ocupa un sub-volumen del espacio ambiental donde los factores de sitio están dentro de sus requerimientos metabólicos, teniendo cada punto favorabilidad variable, generalmente con un óptimo en el interior del espacio y condiciones menos favorables cerca del perímetro.

Así como los ecosistemas forman un mosaico en el paisaje, la vegetación también se organiza en un patrón de teselas (fragmentos, manchones, parches) diferentes, exhibiendo una amplia variedad de estructuras tridimensionales y mostrando heterogeneidad espacial en muchas escalas. La vegetación se estructura jerárquicamente en sentido vertical y horizontal: cada nivel se manifiesta de manera diferente y refleja variables distintas o niveles distintos de las mismas variables, lo que implica que el análisis que se haga de la vegetación depende del nivel jerárquico que se considere (Matteucci & Colma, 1998; Crawley, 1996).

En Ecología Vegetal se denomina *arquitectura* a la organización vertical de las plantas, la cual depende del hábito de las especies que forman la comunidad. La misma puede variar sutilmente en el tiempo y en el espacio, por lo que al concepto de arquitectura se agregan otros relacionados con la fisiología de las plantas y se obtiene una nueva categoría de descripción: el tipo fisonómico. En general se denomina *formación* a la unidad de vegetación caracterizada por su fisonomía y *asociación* a la comunidad caracterizada por sus especies (Matteucci & Colma, 1998).

Los grandes biomas del mundo tienen alta convergencia en su fisonomía, a pesar de las grandes diferencias en la afinidad taxonómica de sus floras, lo cual demuestra la importancia de los factores climáticos como agentes de selección natural. Al mismo tiempo, la *estructura vertical de las comunidades vegetales* también está determinada en gran medida por el clima. Uno de los efectos más profundos de la estructura vertical de las comunidades es sobre la riqueza de especies: cuanto más compleja, mayor suele ser la riqueza de especies. Su influencia también se percibe por los efectos en el microclima y la estructura de la comunidad animal.

Una de las preguntas fundamentales sobre la naturaleza de las comunidades vegetales se refiere a la forma en la que las especies responden a los gradientes ambientales: ¿todos los stands reconocibles de especies aparecen y desaparecen en puntos a lo largo del gradiente o las especies van y vienen más o menos independientemente una de la otra a lo largo del gradiente? Esta pregunta determina la *estructura horizontal de las comunidades vegetales*, existiendo dos casos extremos: 1. Que haya zonas distintas con especies diferentes, distinguiéndose comunidades claras y discretas, separadas por zonas intermedias estrechas. 2. Que se presenten patrones indistintos, donde una cierta combinación de especies gradaría imperceptiblemente en otra a medida que nos movemos en el gradiente, no reconociéndose límites claros entre una comunidad y otra. Esta distinción forma la base de una disputa de largo término entre los que desean clasificar y nombrar comunidades de plantas discretas y aquellos que ven a las comunidades como constantemente variables. El establecimiento de límites entre comunidades muchas veces se complica porque no existen cambios bruscos de un tipo de vegetación a otra, salvo cuando el paisaje está fragmentado por la actividad humana, o en los casos en que un accidente del relieve produce cambios intensos del valor de las variables ambientales. Por esto, muchas veces los nombres que se asignan a las comunidades son etiquetas de conveniencia más que descripciones de asociaciones de plantas rígidamente estructuradas, altamente integradas y deterministas. Aun cuando existen límites reconocibles entre comunidades, sus posiciones no son necesariamente fijas ni espacial ni temporalmente (Crawley, 1996). En cualquier caso, la clasificación consiste en manipular los datos censales para formar clases de objetos minimizando la variabilidad intra-clase y maximizando la variabilidad inter-clase. Dentro de un paisaje suele suceder que las comunidades difieran más en las proporciones de las distintas especies que en composición florística, especialmente cuando existen gradientes suaves, por lo cual es necesaria la clasificación sobre la base de variables cuantitativas (Matteucci & Colma, 1998).

Cualquiera sea la postura que se tome respecto a la identidad de las comunidades, es necesario hipotetizar acerca de las causas de la riqueza de especies en las mismas. Para cada combinación de suelo, clima, altitud, pendiente y aspecto hay una especie que

crece mejor que cualquier otra. Según el principio de exclusión competitiva, en un mundo espacialmente uniforme y temporalmente constante esta especie individual llegaría a dominar la comunidad excluyendo a todas las demás. Sin embargo, la mayoría de las comunidades contienen muchas especies de plantas y el principio de exclusión competitiva no funciona ya que asume postulados erróneos: los ambientes no son ni espacialmente uniformes ni temporalmente constantes; son estacionales, espacialmente parchados, periódicamente disturbados y las poblaciones de plantas que lo constituyen están sujetas a competencia fluctuante por otras especies y niveles variables de impacto por herbívoros, patógenos, polinizadores y agentes de dispersión Crawley (1996).

Para explicar la alta riqueza de especies que puede encontrarse en un sitio dado, Crawley (1996) propone una serie de procesos que operarían en mayor o menor grado según el caso: 1. *Heterogeneidad espacial* (ambientes aparentemente homogéneos consisten en muchos microhábitats sutilmente diferentes, en donde una especie excluye a las demás, siendo cada especie más competitiva bajo cierta combinación de condiciones). 2. *Variación temporal* (como las especies difieren en sus nichos ecológicos, y las condiciones ambientales son fluctuantes, años buenos para algunas no lo son para otras; así, especies raras sobreviven en años desfavorables e incrementan su proporción en momentos donde las condiciones se vuelven favorables). 3. *Habilidad competitiva y equilibrio de dispersión* (la coexistencia entre especies similares es posible si el competidor inferior tiene mayor capacidad de dispersión y aprovecha para colonizar los espacios que se van generando, aunque posteriormente sea excluido competitivamente). 4. *Separación de nichos y partición de recursos* (los nichos de las plantas que coexisten son lo suficientemente diferentes en comportamiento germinativo, profundidad de raíces, umbrales de temperatura, tolerancia al pastoreo, etc. como para que haya exclusión por competencia). 5. *Disturbios* (fuego, inundaciones, herbivoría, patógenos, etc. generan micrositios libres que permiten la invasión por otras especies. La riqueza será máxima en niveles moderados de disturbios, porque se previene la dominancia y es grande el pool de potenciales colonizadores). 6. *Refugios* (la riqueza aumenta si el competidor inferior tiene algún refugio que actúa como fuente de propágulos que se dispersan a aquellas partes del hábitat donde, en equilibrio, las especies serían excluidas).

Tradicionalmente, la Ecología Cuantitativa ha propuesto que la diversidad *alfa* resulta de la diferenciación de especies por sus relaciones de nichos (más especies pueden ser acomodadas en comunidades con hiperespacios más amplios, en comunidades en las cuales el promedio de la amplitud de nicho es reducida, y/o en comunidades con alta superposición de nichos promedio) y que la diversidad *beta* es la respuesta de las especies a la diversidad de hábitats (por variaciones en las condiciones ambientales entre sitios ocupados por diferentes comunidades), lo que históricamente ha estudiado la fitosociología. Autores como Schmid & Wilson (1985) proponen dos mecanismos adicionales como determinantes de la diversidad, a los que llaman *efecto de masa* y



*equivalencia ecológica*, teniendo cada uno diferentes efectos sobre la diversidad *alfa*, *beta* y *gamma*. Con el primer concepto se refieren a la influencia ejercida por la dispersión: si existe una alta tasa de afluencia de propágulos, algunos individuos de una determinada especie se establecen en sitios donde no pueden mantener poblaciones viables, haciendo que exista un flujo de individuos desde áreas donde son exitosos hacia áreas desfavorables, lo que provoca siempre aumentos en la diversidad *alfa*, mientras que su influencia sobre la diversidad *beta* depende de las propiedades del sistema. Con el término *equivalencia ecológica* se hace referencia a las especies que ocupan nichos ecológicos similares en distintas comunidades o áreas geográficas, pudiendo estar emparentadas o no. La magnitud de la influencia que tiene la *equivalencia ecológica* sobre la totalidad de la riqueza de especies debería ser mayor en sistemas donde los hábitats son discretos y se distribuyen en parches y/o donde las interacciones por competencia se encuentran reducidas.

Otra de las causas tradicionalmente reconocida como explicativa de la heterogeneidad de la vegetación es la diferenciación entre comunidades con el aumento de la distancia geográfica, y este fenómeno se atribuye a tres mecanismos principales: 1. La similitud decae con la distancia porque también decrece la similitud ambiental. 2. La configuración espacial y la naturaleza del paisaje imponen condiciones a las tasas de dispersión de los organismos entre sitios. 3. La similitud decae con la distancia aun si el ambiente es completamente homogéneo, debido a la capacidad limitada de dispersión de los organismos. Estos tres procesos principales no son mutuamente excluyentes, y la tasa de decaimiento de la similitud con la distancia en la mayoría de las comunidades probablemente se deba al control conjunto de los procesos de nicho, la configuración espacial y la neutralidad. Diferentes estudios muestran que la relación entre la similitud entre comunidades y la distancia típicamente puede aproximarse por un modelo logarítmico lo que sugiere una lluvia de propágulos no aleatoria. Además de lo anterior, el decaimiento con la distancia varía tanto con la extensión espacial como con el tamaño de grano seleccionado para un estudio (Soininen *et al.*, 2007).

La importancia relativa de los factores ecológicos que inciden sobre la heterogeneidad de la vegetación cambia con la escala espacial considerada. Así, los factores del hábitat como determinantes de la composición y diversidad de especies aumentan con la extensión de la escala de observación (Shmida & Wilson, 1985; Crawley & Harrell, 2001). Dado que diferentes factores abióticos exhiben escalas de discontinuidad particulares (Reed *et al.*, 1993), la identidad de las variables asociadas con la heterogeneidad de la vegetación también cambia con la escala enfocada. En primer lugar, las relaciones interespecíficas y factores autoecológicos (relaciones de nicho), adquieren mayor relevancia a medida que se reduce la extensión de la escala de percepción. La heterogeneidad de hábitat es proporcional a las diferencias en las condiciones ambientales con la expansión del área pero con reducción en su efecto a medida que se repiten los patrones espaciales. Por su parte, los efectos de masa entre hábitats vecinos

ejercen una mayor influencia a escalas intermedias (Chaneton, 2005), ya que el número de especies encontradas fuera de su región de auto-mantenimiento depende de las habilidades de dispersión, la heterogeneidad de la biota, el área de la muestra y el rango de condiciones ambientales representado en la misma. Finalmente, a pesar de que los efectos de los equivalentes ecológicos ocurren en todas las escalas, son más intensos en escalas espaciales amplias donde las barreras geográficas y topográficas impiden la mezcla. La alta riqueza biótica que suele registrarse en áreas de transiciones florísticas se debe principalmente a los efectos de masa en escalas amplias que se dan entre las dos floras, así como también al solapamiento de los rangos de las especies y al alto porcentaje de equivalentes ecológicos se espera en las transiciones de contacto.

#### 1.2.4. Los pastizales como sistemas ecológicos

Según la Evaluación Piloto de Ecosistemas Globales (PAGE - Pilot Analysis of Global Ecosystems), los pastizales son “ecosistemas terrestres dominados por vegetación herbácea y arbustiva, y mantenidos por el fuego, el pastoreo, la sequía y/o temperaturas bajo cero” (White *et al.*, 2000). En su forma más simple, un pastizal es definido como un hábitat dominado por especies pertenecientes a la familia Poaceae; a pesar de las diferencias que puedan presentar, todas incluyen la prevalencia de pastos, la baja frecuencia y baja abundancia de vegetación leñosa y clima generalmente árido. Otros factores que suelen ser incluidos son la presencia de suelos profundos, fértiles y orgánicos y los regímenes de disturbios como el fuego natural y el pastoreo de grandes mamíferos (Gibson, 2009).

Conocidos como praderas en América del Norte, pampas en América del Sur, sabanas en el sur de África y estepas en Asia, los pastizales templados, sabanas y arbustales difieren en gran parte de los pastizales tropicales en el régimen de temperatura anual así como en el tipo de especies que allí se encuentran. En forma general, estas regiones están desprovistas de árboles, excepto por la presencia de bosques ribereños o en galería asociados con arroyos y ríos (WWF, 2017). Globalmente, los pastizales se ubican en todos los continentes (excluyendo la Antártida) y según la clasificación realizada por la Evaluación Piloto de Ecosistemas Globales, se estima que cubren 52.544.000 km<sup>2</sup>, lo que equivale al 40,5 % del total de la superficie terrestre (White *et al.*, 2000; World Resources, 2000-2001). La clasificación del PAGE es amplia, incluyendo sabanas (17,9 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>), arbustales abiertos y cerrados (16,5 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>) y tundra (7,4 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>), además de los pastizales no leñosos (10,7 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>). Bajo esta clasificación, los pastizales ocupan más superficie que otros tipos de coberturas tales como los bosques (28,97 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>) o la agricultura (36,23 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>), albergando a unas 800 millones de personas (White *et al.*, 2000).

Los pastizales más extensos se encuentran en África Subsahariana, seguidos por Asia (excluyendo el Medio Este), y los pastizales de Europa, América del Norte y Oceanía. En Sudamérica, ocupan  $4,87 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, y en ellos viven aproximadamente 56 millones de personas. Considerando el área ocupada, hay 11 países que presentan más de 1 millón de km<sup>2</sup> de pastizales en sentido amplio, siendo Australia el país con mayor superficie (6,6 millones de km<sup>2</sup>), seguido por Rusia, China, Estados Unidos, Canadá, Kazajistán, Brasil y Argentina (este último, 2.781.237 km<sup>2</sup> totales y 1.462.884 km<sup>2</sup> de pastizales).

A partir de su distribución alrededor del mundo, es posible concluir que los pastizales ocurren bajo rangos muy amplios de temperaturas y precipitaciones. El clima varía desde templado a tropical, con precipitaciones anuales desde 250 a más de 1000 mm anuales. Las temperaturas medias varían entre 0 y 26° C. Existen muchas correlaciones significativas entre la precipitación media anual y ciertas propiedades de los pastizales como la productividad primaria neta área (PPNA), la profundidad de raíces y la acumulación de materia orgánica en el suelo (Blair *et al.*, 2014). Los pastizales en general experimentan alta variabilidad intra e interanual de las precipitaciones y son especialmente sensibles tanto a la cantidad como a su distribución en el tiempo. Frecuentemente, la estacionalidad de las precipitaciones en conjunto con los totales anuales, son un condicionante crítico para los pastizales. Aunque muchos experimentan déficits de agua y periodos de sequías que imposibilitan el establecimiento de especies leñosas, otros ocupan regiones donde el clima podría soportar arbustales, sabanas o incluso bosques. En estos casos, la persistencia del pastizal depende de la ocurrencia de disturbios, como el fuego y la herbivoría, siendo comunidades disturbio-dependientes.

El clima, el fuego y el pastoreo son factores claves responsables del origen, el mantenimiento y la estructuración de los pastizales naturales más extensos de la tierra. La importancia relativa del fuego en la estructuración de las comunidades tiende a ser mayor en los pastizales de zonas templadas y productivas, que se incendian a intervalos más frecuentes y con mayores intensidades debido a la gran acumulación de combustible sobre el suelo. Adicionalmente, la mayoría de los pastizales coevolucionaron con grandes herbívoros, por lo que la herbivoría es un factor importante que afecta otros procesos ecológicos en diferentes escalas, desde la fisiología individual, pasando por la dinámica de poblaciones y comunidades, hasta los procesos ecosistémicos y patrones del paisaje (Blair *et al.*, 2014).

Otra característica importante de los pastizales es la gran acumulación de biomasa en el suelo y las grandes cantidades de residuos de raíces. La gran entrada de residuos vegetales aportados al suelo acoplado con tasas bajas de descomposición debido al clima llevan a grandes acumulaciones de materia orgánica y nutrientes en el suelo. Adicionalmente, la escasez de agua reduce la tasa de meteorización y percolación de los nutrientes desde la zona de raíces, dando como resultado la alta fertilidad de los suelos, razón por la cual históricamente han sido explotados con fines agrícolas. La acumulación

de materia orgánica suele correlacionarse positivamente con la disponibilidad de agua, lo que estimula la productividad de las plantas más que la descomposición, y esto hace que aún los pastizales más productivos acumulen gran cantidad de carbono orgánico y nutrientes en el suelo. A pesar de que los pastizales pueden ocupar una amplia variedad de tipos de suelos, los típicos de pastizales son oscuros y ricos, denominados Molisoles (US Soil Taxonomy), pudiendo también ocurrir sobre otros tipos de suelos. Muchos pastizales de climas tropicales y subtropicales crecen en suelos mucho más viejos, y por esto más modificados por intemperismo, donde es menor el contenido de cationes y la disponibilidad de fósforo (Blair *et al.*, 2014).

En sentido amplio, los pastizales proveen gran cantidad de bienes y servicios de suma importancia, tales como: alimentos, forraje para ganado doméstico y producción de biocombustibles, reservorio genético y de biodiversidad, secuestro de carbono, turismo y recreación, provisión de agua para bebida y riego, regulación hídrica, ciclado de nutrientes, mantenimiento de la calidad del aire, control de erosión y pérdidas de suelos, entre otros (Sala & Paruelo, 1997; World Resources 2000-2001). Considerando 17 funciones y servicios ecosistémicos, el valor estimado total para los biomas de pastizal es de \$232/ha.año; considerablemente menos que bosques y humedales, pero 2,5 veces más que las áreas agrícolas (Costanza *et al.*, 1997).

Los pastizales tienen un alto potencial para ser heterogéneos en diversas escalas debido al reducido tamaño individual de las plantas que los componen. Como ocurre con la vegetación en sentido amplio, la distribución y composición florística de los mismos está determinada en gran parte por el clima: en áreas extensas, la heterogeneidad se manifiesta en forma de gradientes definidos por la abundancia de diferentes grupos funcionales de plantas, la productividad primaria o la diversidad florística (Chaneton, 2005). En una determinada región es posible distinguir paisajes caracterizados por distintos niveles de heterogeneidad fisiográfica, los cuales presentan diferencias más o menos notables en la heterogeneidad espacial de la vegetación (Jobbagy *et al.*, 1996; Perelman *et al.*, 2001). Tanto la composición como la riqueza de la flora regional dependen de procesos históricos y biogeográficos relacionados con la dinámica de migración de especies, las tasas de extinción, el uso de la tierra y las invasiones biológicas (Mc Kinney & Lockwood, 1999; Chaneton *et al.*, 2002). En la escala de paisaje la heterogeneidad de los pastizales suele estar determinada por la diferenciación de comunidades a través de gradientes ambientales asociados al relieve topográfico (Gibson & Hulbert, 1987; Milchunas *et al.*, 1989), el régimen de drenaje, las propiedades físico-químicas del suelo, o combinaciones complejas de esas variables (Schimel *et al.*, 1985) así como el régimen de disturbios puede acentuar la variabilidad espacial y temporal de las comunidades. Asimismo, dentro del paisaje adquieren mayor importancia el efecto de masa entre comunidades adyacentes (Shmida & Wilson, 1985). La influencia azarosa de los patrones de dispersión se superpone con los efectos más predecibles de la matriz abiótica creada por diferentes gradientes ambientales. Estos gradientes suelen explicar

la mayor parte de la variabilidad observada en la composición y diversidad vegetal a escala de paisaje (Shmida & Wilson, 1985; Crawley & Harral, 2001).

En escalas de mayor detalle, las distintas comunidades aparecen integradas por parches caracterizados por una composición florística particular. La variabilidad interna de las comunidades de pastizales puede ser determinada por cambios sutiles en la topografía (Sterling *et al.*, 1984), fertilidad, pH o salinidad del suelo (Greig-Smith, 1979; Belsky, 1983), reflejando la separación de nichos entre las especies que coexisten. La respuesta de las plantas al ambiente abiótico, como en todas las comunidades vegetales, está condicionada por la presencia de otras plantas, debido a procesos bióticos como la competencia, la facilitación, la división del hábitat, los patrones de propagación clonal y la distancia de dispersión de semillas, además de las perturbaciones generadas por la actividad animal. En escalas aún más detalladas (parche-micrositio) la heterogeneidad es definida por el patrón de distribución de las plantas individuales, siendo el tamaño, la arquitectura y el hábito de crecimiento de las especies los determinantes de la estructura del pastizal a escala fina, además de factores como la herbivoría y los microdisturbios generados por invertebrados del suelo (Greig-Smith, 1979). A medida que se achica la extensión y el grano de observación, la actividad biológica de las plantas actúa desacoplando la influencia del ambiente abiótico sobre la vegetación (Wiens, 1989).

### 1.3. Hipótesis

- En el sector más llano de la cuenca del arroyo del Azul el paisaje está conformado por diferentes elementos que se reconocen por la estructura de su comunidad vegetal, la cual es producto de la combinación de propiedades crípticas del paisaje, destacándose las características geomorfológicas e hidrológicas.
- En el sector analizado, en escala de detalle, existen zonas transicionales o ecotonos en las cuales se solapan diferentes atributos del paisaje, de manera gradual o abrupta, y donde en muchos casos es posible reconocer ambientes con un conjunto de características únicas definidas por las interacciones entre los sistemas ecológicos adyacentes.
- La heterogeneidad del paisaje está dada por la disposición alternada de sus elementos constituyentes y las transiciones entre los mismos, producto de atributos subyacentes del sistema.

#### 1.4. Objetivos

El **objetivo general** de esta propuesta consiste en ajustar el modelo conceptual de la estructura integral del paisaje de la cuenca inferior del arroyo del Azul, para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos:

✓ **Objetivo específico I:** Caracterizar el mosaico paisajístico en un sector de la cuenca inferior del arroyo del Azul a partir de sus características geomorfológicas e hidrológicas.

✓ **Objetivo específico II:** Analizar la heterogeneidad de la vegetación en el sector de la cuenca seleccionado.

✓ **Objetivo específico III:** Inferir la estructura general del paisaje en el área estudiada sobre la base de sus elementos constituyentes y sus zonas ecotonaes, a partir del análisis de la heterogeneidad geomorfológica, hidrológica y florística.

## Capítulo N° 2: MARCO GENERAL DE LA PAMPA DEPRIMIDA

La República Argentina, con sus 2.791.810 km<sup>2</sup> de extensión continental, ejerce su soberanía efectiva en un territorio que se extiende por más de 33° de latitud entre sus extremos norte y sur, y por casi 20° de longitud de este a oeste, teniendo 3694 km de norte a sur y 1423 km de este a oeste (IGN, 2018). A la gran extensión latitudinal y longitudinal, se le suma un marcado gradiente altitudinal en sentido oeste-este, vinculado con el desarrollo de la Cordillera de los Andes y otros sistemas serranos asociados. Las características anteriores determinan la existencia de una gran variabilidad ambiental en el territorio nacional. Consecuentemente, el territorio ha sido subdividido en función de sus características ambientales, con el objetivo de generar clasificaciones que permitan el estudio, la comunicación y la gestión de las diversas regiones del país.

En este trabajo se considera la regionalización propuesta por Morello *et al.* (2012), que divide al territorio utilizando un sistema jerárquico de Ecorregiones, Subregiones y Complejos de Ecosistemas. Una Ecorregión es un territorio de máxima jerarquía, geográficamente definido, en el que dominan determinadas características de relieve, geología, grandes grupos de suelos, procesos geomorfológicos, tipos de vegetación y complejos faunísticos, además de una historia evolutiva común. Se define por un clima regional distintivo basado en la pluviometría media anual, presencia o ausencia de estación seca y duración media de esta, y presencia o ausencia de estación fría. Por su parte, una Subregión es una porción de la tierra que presenta un marco geológico uniforme sometido a procesos de modelado característicos y que, además, posee un patrón distintivo de relieve por estar expuesto a procesos de diseño propios, los que se reflejan en la fisonomía general o grandes tipos de vegetación dominantes y complejos de suelos asociados y cuerpos de agua y fauna acompañante. Finalmente, un Complejo de Ecosistemas se define como un agrupamiento de sistemas ecológicos que tienden a ocurrir de manera repetitiva en relación con las unidades o paisajes geomorfológicos y edáficos, compartiendo clima, patrones de uso, procesos y flujos ecológicos. Se identifica por una combinación de fisonomías, presentando un tipo de vegetación que funciona como matriz y otro como parches, además de presentar homogeneidad mesoclimática, coherencia geomorfológica (sus ecosistemas forman parte de un gran ambiente geomorfológico definido), sistemas ecológicos asociados espacialmente en forma repetitiva, homogeneidad ecológica en cuanto a las respuestas a pulsos naturales, y homogeneidad de potencial natural de agroproducción (Reca, 2006; Morello *et al.*, 2012).

En este contexto, la extensa planicie del centro-este argentino comprende la **Ecorregión Pampa**, el ecosistema más importante de praderas del territorio nacional. Con unos 398.966 km<sup>2</sup>, abarca la mitad sur de Entre Ríos, el sudeste de Córdoba, sur de Santa Fe, noreste de La Pampa y casi toda la provincia de Buenos Aires (exceptuando su extremo

sur). La Ecorregión Pampa (Figura N° 2.1.) ha sido subdividida en dos Subregiones (Pampa Húmeda y Pampa Subhúmeda) sobre la base de las condiciones climáticas, especialmente la disponibilidad de humedad, y en 11 Complejos, según relieve, topografía y tipos de suelo (para la Pampa Húmeda, Complejos Pampa Mesopotámica, Pampa Llana, Pampa Ondulada y Pampa Deprimida; para la Pampa Subhúmeda, Complejos Pampa Arenosa, Pampa Arenosa Anegable, Pampa Medanosa, Planicie Periserrana Distal, Lagunas Encadenadas, Pampa Interserrana y Sierras Bonaerenses) (Matteucci, 2012).

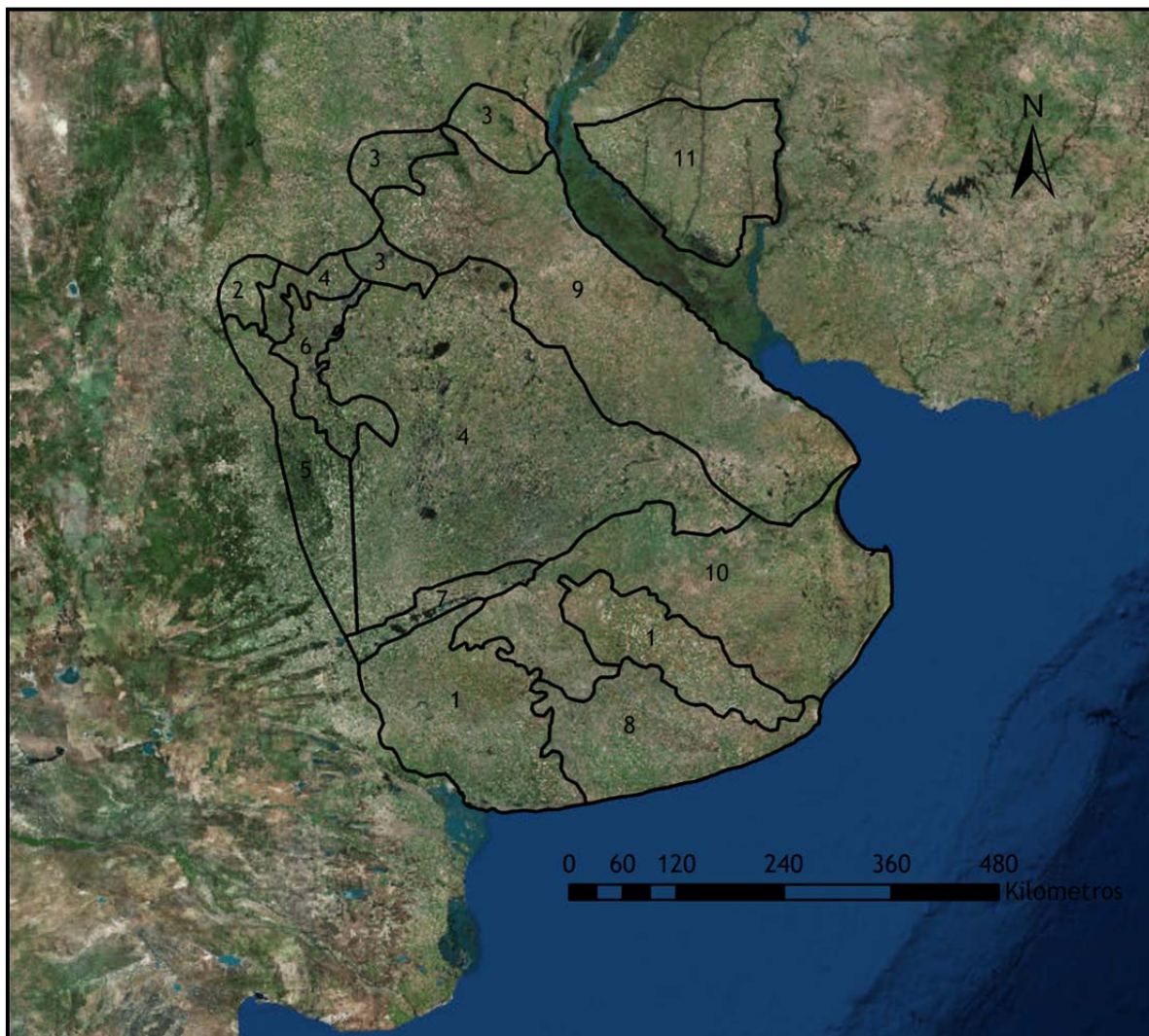


Figura N° 2. 1: Ubicación de la Ecorregión Pampa. 1. Sierras Bonaerenses. 2. Planicie Periserrana Distal. 3. Pampa Llana. 4. Pampa Arenosa. 5. Pampa Medanosa. 6. Pampa Arenosa Anegable. 7. Lagunas Encadenadas. 8. Pampa Interserrana. 9. Pampa Ondulada. 10. Pampa Deprimida. 11. Pampa Mesopotámica. Modificado de Matteucci, 2012.



El área de estudio seleccionada para este trabajo se ubica específicamente en el Complejo Pampa Deprimida el cual presenta una superficie de 59.656 km<sup>2</sup>; ocupa el centro-este de la provincia de Buenos Aires, y forma un triángulo cuya base se encuentra en la costa Atlántica y se extiende un trecho entre las serranías de Tandilia y Ventania (Matteucci, 2012). Limita al nor-noroeste con la Pampa Arenosa, al nor-noreste con la Pampa Ondulada y al Sur con el Complejo Sierras Bonaerenses.

## 2.1. Características climáticas

La región central de Argentina, entre los 32° y 39° de latitud sur, se caracteriza por el clima templado. Regionalmente, los factores determinantes del clima son controlados por las células de alta presión subtropicales, la intensidad del frente bajo cuasi-estacionario en el Gran Chaco y los vientos del oeste (*westerlies*) de latitudes medias (Burgos & Vidal, 1951; Garreaud *et al.*, 2009). El anticiclón del Atlántico Sur transporta vientos cálidos y húmedos del norte y noreste, mientras que el del Pacífico Sur lleva masas de aire frías y secas desde el sur a las planicies pampeanas. Las precipitaciones son generadas por las masas de aire húmedo del anticiclón del Atlántico, decreciendo gradualmente de 900 a 1000 mm en el noreste de la Ecorregión Pampa, hasta 250-300 mm en el piedemonte andino (Burgos & Vidal, 1951). Al igual que en todo el sur del continente americano, en toda la región central de Argentina se observa gran variabilidad climática interanual, controlada principalmente por el fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation), y en menor medida por los fenómenos conocidos como PDO (Pacific Decadal Oscillation) y AAO (Antarctic Oscillation). Estudios que relacionan las anomalías en las precipitaciones con el fenómeno ENSO indican que durante la fase El Niño se registran condiciones más húmedas en el sudeste del continente, mientras que durante La Niña el clima se torna más seco (Garreaud *et al.*, 2009).

En la Ecorregión Pampa el clima es templado pampeano húmedo, con precipitaciones entre 700 y 1.200 mm, decreciendo de noreste a sudoeste. Las temperaturas medias anuales varían entre 14 y 20 °C y decrecen hacia el sur. La mayor parte de las lluvias se concentra en primavera y verano. Las masas de aire se mueven permanentemente de norte a sur y de sur a norte y las lluvias frontales son la norma. Específicamente para el Complejo Pampa Deprimida, el clima es templado subhúmedo, las temperaturas medias anuales varían entre 14 y 16 °C de sur a norte, las medias mensuales del mes más frío (Julio) varían entre 7 y 10 °C y las del mes más cálido entre 23 y 25 °C, presentándose heladas frecuentes en invierno. Las precipitaciones medias anuales varían entre 850 y 1000 mm de sur a norte; la humedad relativa ambiente generalmente es superior al 70 % y la evapotranspiración potencial es del orden de los 800 mm, por lo cual la unidad presenta un exceso de agua anual (Pereyra, 2003).

Desde 1970 se advierte en la región un ciclo climático húmedo, caracterizado por un aumento de las precipitaciones, que han superado los registros históricos. Asociado a dicho incremento, existe un aumento en los excesos de agua, estimados a partir de los balances hídricos, que alimentan la humedad en el suelo, la infiltración o se almacenan en los bajos existentes en la superficie del terreno. La alternancia de periodos secos y húmedos que se observan en los datos de precipitación existentes (a partir de fines del siglo XIX), también se reconoce desde un punto de vista histórico y geológico. Si bien en estos últimos casos no dan una idea cuantitativa de la intensidad y frecuencia de los fenómenos, permite establecer probabilidades cualitativas (Kruse & Laurencena, 2005).

## 2.2. Geología y geomorfología

Según Cingolani (2005), la provincia de Buenos Aires está conformada por una llanura dilatada con sedimentos cenozoicos en la cual afloran los cordones serranos de Tandilia y Ventania. En el subsuelo se destaca la presencia de las cuencas sedimentarias del Salado, Claromecó y del Colorado, con amplia extensión hacia la plataforma continental argentina, agregándose cuencas menores que evolucionan parcialmente dentro del ámbito provincial (Figura N° 2.2).

La cuenca del Salado ocupa el centro-norte provincial, posee una forma elongada, simétrica en planta, que se estrecha hacia el noroeste y se expande hacia el sudeste, abriéndose hacia la plataforma continental argentina y uruguaya donde se integra con la cuenca de Punta del Este. La cuenca del Salado propiamente dicha en su porción continental emergida (*onshore*) tiene una superficie de 51.000 km<sup>2</sup> desarrollándose íntegramente en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires. Hacia el norte limita con el Alto de Martín García y hacia el sur con el Positivo Bonaerense (sensu Irigoyen, 1975; en Tavella, 2005). La porción costa afuera (*offshore*) ocupa 34.000 km<sup>2</sup> e integra la cuenca del Salado por el oeste y la cuenca de Punta del Este por el este, separadas por el Alto del Plata (Tavella, 2005).

La cuenca del Salado/Punta del Este es una de las tantas cuencas extensionales mesozoicas alineadas a lo largo del margen continental oriental de Sudamérica y el oeste de África como consecuencia del rifting continental producido por la ruptura del supercontinente Gondwana. El relleno sedimentario Mesozoico-Cenozoico, que alcanza un espesor máximo de 7.000 m, se apoya sobre un basamento cristalino de edad precámbrica formado por rocas metamórficas intruídas por rocas ígneas; la deformación y subsidencia de la cuenca comenzó durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Tavella, 2005).

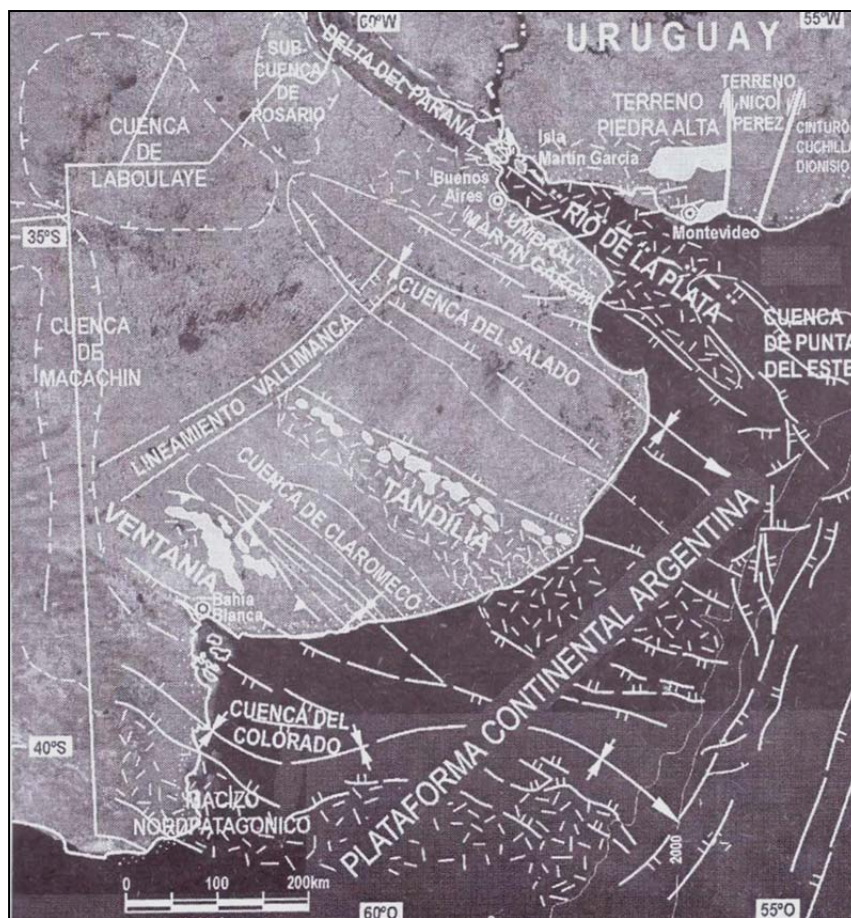


Figura N° 2. 2: Unidades morfoestructurales (y unidades menores) de la provincia de Buenos Aires. Fuente: Cingolani (2005).

El sector centro-oriental de la cuenca tectónica del Salado coincide con la denominada Pampa Deprimida. El paisaje de la región caracterizado por su relieve extremadamente llano, con alturas relativas que raramente pasan los 5-10 m y pendientes que varían entre 0,1 y 0,01 %, es resultado de un proceso de agradación que se prolonga hasta la actualidad. El registro estratigráfico del Cenozoico tardío está representado por una sucesión sedimentaria de composición litológica relativamente homogénea: comprende depósitos volcanoclásticos finos, limos arenosos y limos arcillosos, de colores castaños y aspecto macizo; tradicionalmente se los ha interpretado como materiales de origen eólico (loess) retrabajados en gran parte por acción del agua (limos loessoides). Este ciclo de sedimentación continental silicoclástica que continúa en el Holoceno, se inicia en el Mioceno tardío (12-11 Ma) con posterioridad al retiro generalizado del mar paranaense (Zárate, 2005). El comienzo del mencionado ciclo ha sido relacionado con una fase de la orogenia de los Andes ocurrida en el Mioceno tardío que resultó en la elevación de la cordillera, la cual actuó como una barrera a los vientos cargados de humedad provenientes del Pacífico. Como resultado, acumulaciones de sedimentos sinorogénicos de varios cientos de metros de espesor, fueron depositados sobre extensas

áreas de la llanura pampeana, a lo largo del piedemonte andino de Mendoza, y en el noroeste argentino (Zárate, 2003). Según Zárate (2005) el ciclo eólico más reciente, que integra el material parental de los suelos actuales, es el resultado de las condiciones climáticas áridas y más frías que dominaron en la región durante el último ciclo de glaciación. En escala continental y en un contexto tectónico de borde pasivo, la evolución geomorfológica de toda la provincia de Buenos Aires ha estado controlada por factores externos a la región en los que la dinámica andina ha tenido un papel significativo como área de aporte de sedimentos, así como áreas generatrices de los caudales de los ríos alóctonos del sur bonaerense (e.g. río Colorado). Así, el territorio provincial se comporta como receptáculo de sedimentos procedentes del oeste y funciona en esta escala como un ambiente de piedemonte distal aunque en un contexto tectónico diferente (Zárate, 2005).

La Pampa Deprimida, entonces, presenta un relleno sedimentario consistente en más de 8,5 km de depósitos de edad cretácica y cenozoica, de los cuales los 40-50 m más superficiales son probablemente cuaternarios y compuestos por depósitos de loess y limos loessoides (*loess-like*) en forma de manto (Zárate y Tripaldi, 2012).

Las geoformas eólicas dominantes consisten en mantos irregulares y de baja topografía, y depresiones de deflación. Los mantos están compuestos por depósitos típicos de loess de alrededor de 1-1,5 m de espesor, que constituyen el material parental de los suelos actuales (Zárate y Tripaldi, 2012). En el área, Tricart (1969; 1973) identificó dos unidades eólicas del Pleistoceno tardío-Holoceno, llamadas E3 y E1. La primera, consiste en loess arenoso que pasa gradualmente a loess hacia el noreste; en su techo se desarrollan suelos tipo Argiudoles que luego fueron parcialmente erosionados. La unidad E1 forma una capa eólica fina de limos de apariencia loessoide que se acumula sobre los argiudoles truncados. No hay edades numéricas, pero se estima que el E3 representa depósitos previos al último máximo glacial, mientras que el E1 representa depósitos del Holoceno medio y tardío.

Análisis detallados en la cuenca del arroyo del Azul demostraron que el manto de loess es discontinuo, gradando lateralmente a facies de loess retrabajadas fluvialmente (depósitos tipo-loess - loessoides) que constituyen un extenso abanico aluvial emergiendo del sistema de Tandilia (Zárate y Mehl, 2010). Imágenes satelitales de sistemas fluviales vecinos muestran patrones comparables con los descritos para la cuenca del Azul, posiblemente correspondiendo a mantos tipo-loess. Autores como Fidalgo (1983) y Tricart (1973) observaron en el sector de la depresión próximo a Tandilia formas similares a conos aluviales que integrarían un clásico piedemonte con drenaje de diseño distributivo, destacando la existencia de extensas zonas de derrames que comienzan a ser muy notables desde Tandil hacia el noroeste, formando abanicos que se tornan coalescentes y llegan hasta el río Salado.

Las depresiones de deflación, actualmente ocupadas por espejos de agua permanentes o temporarios someros, son la otra geoforma eólica predominante. Estas depresiones son comunes y abundantes en toda el área, lo que contrasta con la reducida red fluvial existente. En el flanco norte del sistema de Tandilia (vertiente sur de la cuenca tectónica del Salado), donde predominan los cursos abortivos, se observan numerosas cubetas endorreicas y arreicas de escasa profundidad sin estratificación térmica (Dangavs, 2005). Su extensión es muy variable, desde docenas de metros hasta 3 km de diámetro. En una vista en planta tienen forma relativamente redondeada; su flanco este-noreste se caracteriza por la ocurrencia de lunettes con una altura relativa entre 1 m y casi 15 m en algunas cubetas mayores, indicando vientos dominantes del oeste-sudoeste durante su formación (Frenguelli, 1950; Dangavs & Reynaldi, 2008). Dependiendo de la composición local del sustrato, las lunettes están formadas por sedimentos limosos, limo-arenosos o arcillosos, de composición volcánico-lástica (Dangavs & Blasi, 2002). Según Mc Kee (1979) se denominan lunettes si el material sedimentario es arcilla; si el material es limoso, se las llama dunas de deflación (*blowout dunes*). Esta terminología se adopta en esta investigación.

Según Dangavs (2005), las actuales lagunas pampeanas se alojan en cubetas de edades distintas y de variado origen, en cuyo modelado se reconoce la superposición de dos o más acciones geomorfológicas, siendo dominante el proceso deflacionario incluso en las áreas de cauces fluviales y depresiones de origen tectónico. No descarta en su génesis la existencia de depresiones primitivas, donde acciones repetitivas de deflación y acumulación hídrica ampliaron dichas cuencas hasta transformarlas en las actuales lagunas. Frenguelli (1957) señala que los efectos deflacionarios en el Pleistoceno Superior fueron más intensos y generalizados que los posteriores del Holoceno, lo que determinó que las cubetas de mayor edad sean más profundas que aquellas más jóvenes y alojen cuerpos de agua en mejor estado limnológico. Los procesos de deflación-acumulación-deflación actuando en forma repetitiva durante la alternancia de climas secos y húmedos que caracterizó la región pampeana desde el Pleistoceno Superior al presente modelaron las depresiones y/o valles primitivos hasta transformarlas en cubetas, las que bajo el régimen climático húmedo actual se han transformado en ambientes lénticos, principalmente lagunares (Dangavs, 2005).

Otra geoforma eólica secundaria, pero importante, son las dunas lineales y parabólicas situadas en el piedemonte norte del sistema de Tandilia. Las mismas presentan alturas relativas entre 1-1,5 m, 20-30 km de longitud y alrededor de 0,3-0,5 km de anchura con orientación general nor-noreste (Zárate & Mehl, 2010). En el extremo sudoriental de Tandilia, al norte de la ciudad de Mar del Plata, Martínez (1998) y Martínez *et al.* (2000) mencionan la existencia de dunas parabólicas orientadas en dirección sudoeste-noreste muy disipadas y poco perceptibles en el campo, a las que se sobrepone un sistema

posterior de dunas parabólicas y longitudinales orientadas en dirección oeste-este, asignadas estas últimas a la Pequeña Edad de Hielo ocurrida durante el Holoceno tardío ( $700 \pm 150$  años antes del presente en la base del horizonte A, utilizando Luminiscencia Ópticamente Estimulada). A partir de la orientación y la ubicación general de estos médanos y los modelos eólicos propuestos, se infieren paleo-vientos dominantes del cuadrante oeste-sudoeste y se propone que el cordón serrano de Tandilia haya actuado como obstáculo topográfico para la circulación de las nubes de polvo durante el Pleistoceno tardío (Zárate & Blasi, 1993; Zárate & Tripaldi, 2012). La cronología de estos depósitos eólicos es muy poco conocida y no se tienen edades numéricas para el área de estudio.

Las dunas longitudinales y parabólicas son las geoformas eólicas más conspicuas, tanto por su grado de expresión morfológica como por las condiciones ambientales que localmente generan en el piedemonte norte de Tandilia (vertiente sur de la cuenca del Salado), teniendo un papel destacado en el control de las redes de drenaje en los sectores distales. Al presentar mayores alturas relativas son los únicos sectores no afectados por las crecientes. Están formadas por materiales sedimentarios limo-arenosos lo que, sumado a su altura, propició la formación de suelos con perfiles bien drenados que actualmente se destinan a la agricultura (Zárate y Mehl, 2010) (Figura N° 2.3.).

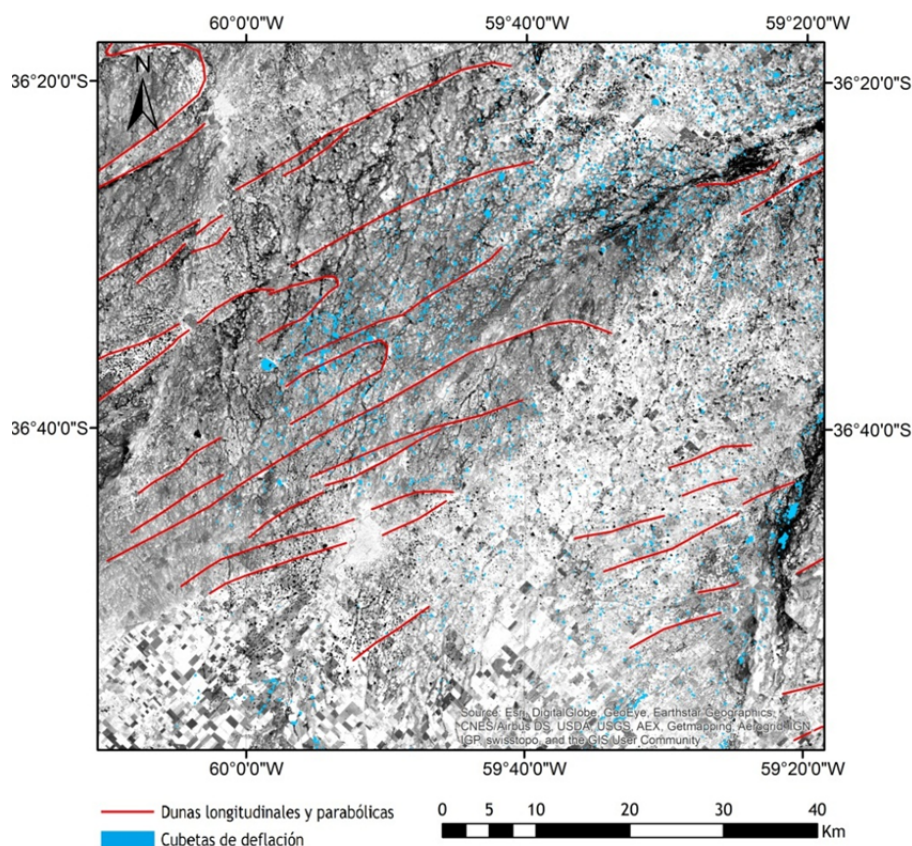


Figura N° 2. 3: Dunas longitudinales y parabólicas, y cubetas de deflación, en el sector medio e inferior de la cuenca del arroyo del Azul. Modificado de Zárate *et al.*, 2010.



### 2.3. Características pedogenéticas

Como se mencionó en el apartado anterior, los depósitos de loess y limos loessoides depositados por el viento y re TRABAJADOS por el agua respectivamente que rellenan la depresión del Salado constituyen el material parental sobre el cual se desarrollan los suelos actuales. Es común en toda la región la presencia de sales de sodio en porcentajes perjudiciales para la estructura del suelo, incidiendo en el desarrollo radicular y la infiltración de las aguas, además de la existencia de sectores con pH fuertemente alcalino (Hurtado *et al.*, 2005).

En la Ecorregión Pampa el orden dominante es Molisoles, mientras que los órdenes Vertisoles y Alfisoles son subordinados y los Entisoles, muy subordinados (Ferrer y Panigatti, 2010). En concordancia con lo anterior, la superposición de los límites del Complejo Pampa Deprimida con el mapa de suelos de la Argentina (INTA, 1990) muestra que la mayor parte de los suelos pertenecen a los órdenes **Molisoles**, y en menor medida a los órdenes **Vertisoles**, **Alfisoles** y **Entisoles** (Matteucci, 2012) (Tabla N° 2.1.).

Tabla N° 2. 1.: Porcentaje de los principales órdenes y Grandes Grupos de suelos en el Complejo Pampa Deprimida (Matteucci, 2012).

ORDEN	GRAN GRUPO	%
<b>Molisoles</b>	Argialboles	4,33
	Argiudoles	12,32
	Hapludoles	19,24
	Natracuoles	46,38
<b>Vertisoles</b>	Cromudertes	0,01
	Peludertes	9,05
<b>Alfisoles</b>	Natracualfes	4,51
<b>Entisoles</b>	Udipsamentes	2,84

Los **Molisoles** son suelos oscuros desarrollados a partir de sedimentos minerales con cobertura vegetal integrada por gramíneas, lo que ha determinado un proceso de melanización. Además, se caracterizan por presentar estructura granular o migajosa moderada que facilita el movimiento del agua y aire, la dominancia del calcio en el complejo de intercambio, la dominancia de arcillas, una moderada a alta capacidad de intercambio y elevada saturación con bases (Moscatelli y Puentes, 2000). Dentro de este orden, en la Pampa Deprimida, se encuentran representantes de los subórdenes **Alboles** (con presencia de horizonte álbico), **Acuoles** (régimen ácuico) y **Udoles** (régimen údico). Para el primero de los subórdenes mencionados únicamente se encuentra en la región el

gran grupo **Argialboles** (con horizonte subsuperficial argílico), mientras que para el último se destaca la presencia de **Hapludoles** (horizonte cámbico) y **Argiudoles** (horizonte argílico), ambos con buena aptitud agrícola. Los suelos del gran grupo **Natracuoles**, suborden **Acuoles**, son los más extendidos en la región: se caracterizan por la presencia de un horizonte nátrico, es decir, contienen elevadas cantidades de sodio de intercambio en el horizonte arcilloso. Pertenecen al mencionado suborden por encontrarse afectados por excesos hídricos durante periodos prolongados, lo que imprime al perfil características de acentuado hidromorfismo.

El orden **Vertisoles** abarca los suelos muy ricos en arcillas expandibles por lo cual se agrietan fuertemente durante la estación seca (Moscatelli y Puentes, 2000). En la región se encuentra únicamente el suborden **Udertes** (suelos húmedos la mayor parte del año), específicamente los grandes grupos **Peludertes** (coloración negra o gris oscura en la parte superior del perfil) y **Cromudertes** (color predominantemente castaño).

El orden de los **Alfisoles** se caracteriza por presentar un horizonte subsuperficial de enriquecimiento secundario de arcillas, desarrollado en condiciones de acidez o alcalinidad sódica, asociado con un horizonte superficial claro, pobre en materia orgánica o de poco espesor, presentando alta saturación con bases en todo el perfil (Moscatelli y Puentes, 2000). En la Pampa Deprimida solo se encuentran suelos del suborden **Acuafes** (saturados por periodos prolongados, asociados a niveles freáticos fluctuantes y cercanos a la superficie), específicamente del gran grupo **Natracuafes**, caracterizados por presentar un horizonte iluvial con sodio de intercambio elevado (horizonte nátrico).

Finalmente, dentro del orden **Entisoles** (suelos que no evidencian o tienen escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos, y en general presentan solo un epipedón ócrico) (Moscatelli y Puentes, 2000) solo existen en la Pampa Deprimida representantes del suborden **Psamentes** (dominantes en depósitos arenosos), gran grupo **Udipsamentes** (régimen údico, con fracción arenosa rica en materiales meteorizables).

Considerando la heterogeneidad interna de la Pampa Deprimida (Figura N° 2.4.), Hurtado *et al.* (2005) afirman que en el sector oeste los suelos están generalmente interrumpidos por una capa de costra calcárea entre 50 y 100 cm de profundidad, existiendo vastos sectores en que la misma se halla más cerca de la superficie o aflora. Predominan allí **Argiudoles**, **Hapludoles**, **Natracuoles** y **Natrudoles**, frecuentemente con horizonte petrocálcico. Los dos primeros son suelos moderadamente bien drenados y neutros; presentan horizontes A y B bien expresados, estando el primero moderadamente bien provisto de materia orgánica y el B enriquecido en arcillas iluviales. La principal limitación está producida por la escasa profundidad efectiva y los eventuales anegamientos que alcanzan esos sitios en inundaciones de gran envergadura. Los **Natracuoles** típicos y **Natrudoles** petrocálcicos, ocupan terrenos sumamente planos;



presentan un horizonte A algo más delgado que los Argiúdoles y un B en el que se observan signos de hidromorfismo, propios de un ambiente reductor (concreciones de hierro manganeso, moteados, colores gley) y tenores de sodio que alcanzan generalmente más del 45 % del complejo de intercambio. Debajo del horizonte B se halla generalmente el horizonte petrocálcico. En microdepresiones de escasos centímetros dentro de los ambientes planos, aparecen suelos sódicos desde superficie con horizonte A delgado y claro, con estructura degradada (Natracualfes típicos), los cuales presentan agudas limitaciones para el desarrollo vegetal (peladares o campos de “pastos salados”).

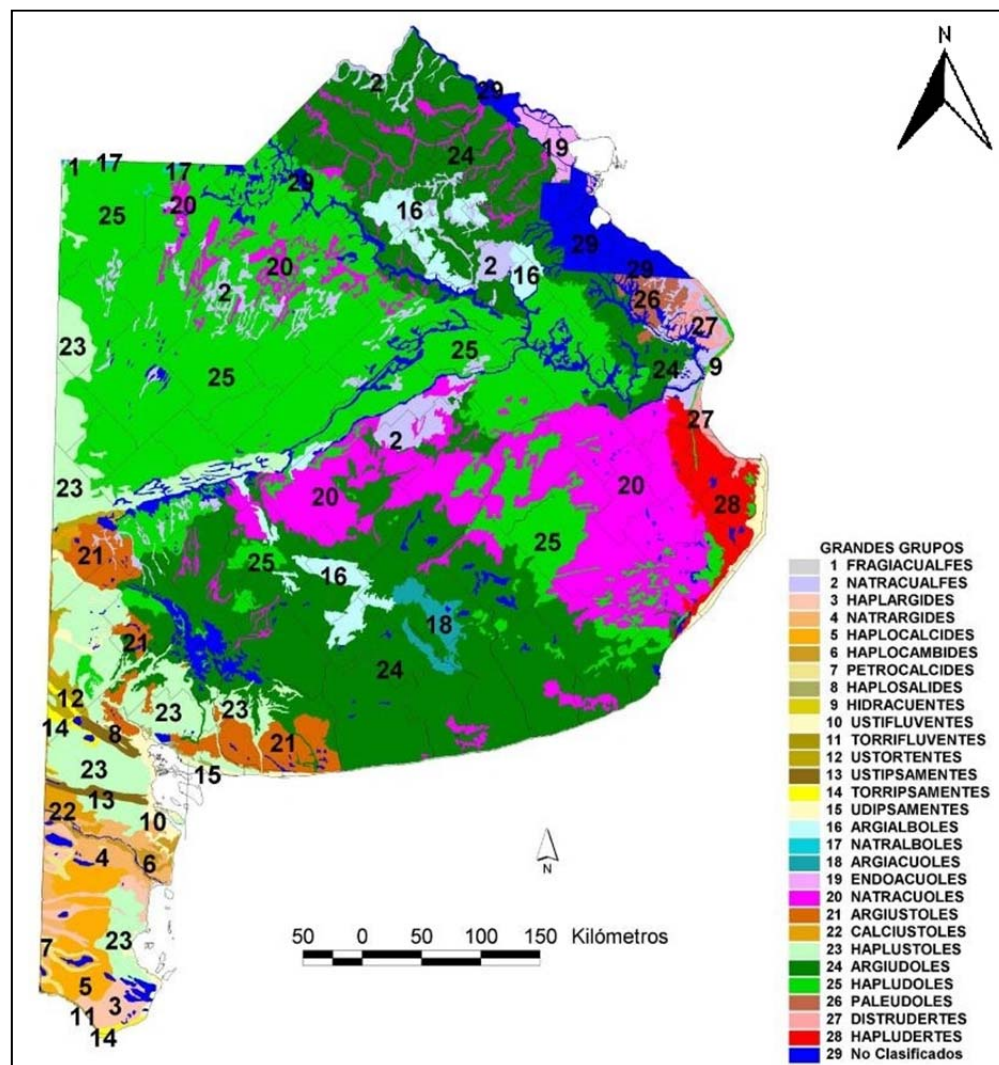


Figura N° 2. 4.: Grandes grupos de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Fuente: SAGPyA - INTA, actualizado por R. Godagnone (2008).

En el sector transicional entre el piedemonte de Tandilia y la parte central de la subregión (partidos de Ayacucho, Rauch y Azul) existen algunos suelos profundos (Argiúdoles típicos) cuyos valores de pH se hacen alcalinos en profundidad y que invariablemente están asociados con Natracuoles típicos.

La parte centro-este de la subregión es la que sufre mayores problemas de drenaje. La casi totalidad de sus suelos son sódicos desde superficie o desde los primeros 40 cm de profundidad (Natracuafes y Natracuoles típicos).

Finalmente, en el sector más oriental, los suelos se desarrollan sobre materiales arcillosos y contienen elevados tenores de arcilla desde superficie, siendo muy poco permeables, alcalino-sódicos, a veces salinos, muy imperfectamente drenados. Allí, predomina el orden de los Vertisoles, específicamente los grandes grupos Peludertes y Cromudertes, mientras que en cordones de conchillas y otros sectores ondulados se desarrollan suelos profundos y bien drenados, pero no relevantes debido a su escasa extensión areal. En dunas costeras estabilizadas, en general, se encuentran suelos de tipo Udipsamentes.

Las limitaciones en toda la región están determinadas por la anegabilidad, alcalinidad, salinidad, muy baja permeabilidad, influencia de la capa freática y escasa profundidad. Muchos suelos presentan condiciones desfavorables en los horizontes superficiales, debido a su delgado espesor y pobreza de nutrientes minerales y orgánicos. Estas condiciones determinan que sea ampliamente dominante la aptitud ganadera. Solo son agrícola-ganaderas algunas tierras ubicadas en zonas de transición hacia los flancos de las sierras (Hurtado *et al.*, 2005).

Los terrenos destinados al pastoreo sufren disturbios de su estructura edáfica por el pisoteo del ganado doméstico. Debido a la gran pérdida en la resistencia superficial que ocurre al presentar altos contenidos hídricos, el suelo no es capaz de soportar el peso del animal, por lo que la superficie cede y se forman profundas huellas. El tránsito repetido de hacienda en estas condiciones determina que la estructura del suelo se debilite progresivamente y sufra amasado y remodelado, pudiendo llegar a formarse agregados indeseables mayores de 25 mm, que no poseen evidencia de microestructura interna. Este mecanismo, conocido como “poaching”, constituye la principal limitante para el uso por pastoreo directo de pastizales de ambientes muy húmedos (Taboada y Micucci, 2002; Taboada, 2009). El daño por amasado no es el simple resultado del pisoteo de un suelo muy húmedo, sino del efecto del estrés repetido del tránsito de hacienda en estas condiciones. Contra lo que usualmente se supone, Taboada *et al* (1999) no registraron cambios en la estructura de suelos inundables de la Pampa Deprimida por “poaching”, cuando el suelo es pastoreado inundado y con cargas no muy elevadas (menos de 1 cab/ha/año). Estos autores proponen que los daños por pisoteo se producen por destrucción de macroporos llenos de aire, lo que ocurre cuando el suelo es pastoreado en seco o moderadamente húmedo, generándose agregados más pequeños. La recuperación de la estabilidad estructural ocurre en otoño e invierno, cuando el suelo está inundado, como resultado del hinchamiento del suelo por expansión volumétrica: los agregados pequeños creados por el pisoteo son unidos nuevamente en grandes unidades estructurales.

## 2.4. Características hidrológicas

Según Fuschini Mejía (1994), uno de los rasgos distintivos de la hidrología de las llanuras es la baja energía morfogenética del terreno lo que genera que, en momentos de excesos hídricos, el agua se acumule en forma de charcos o lagunas sobre la superficie. El impulso natural lo da la precipitación y la salida del sistema es, en un porcentaje muy alto, la evaporación y evapotranspiración diferida desde las acumulaciones en la superficie del suelo y en la zona de aireación y freática. La infiltración en la capa de aireación del suelo es uno de los fenómenos más importantes en las llanuras. La zona de aireación es de importancia fundamental para la agricultura, pues es el sustento de la humedad edáfica, y su capacidad de almacenamiento depende de la capacidad de campo del suelo, siendo un reservorio fundamental para amortiguar el efecto de las precipitaciones y evitar inundaciones por anegamiento pluvial. Cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración el agua se acumula en superficie y se producen anegamientos. Al presentar las llanuras un escaso gradiente altitudinal el agua se mueve muy lentamente: no alcanza a erosionar el suelo para formar un cauce, se genera un “escurrimiento en manto”, y se detiene en bajos y cubetas. Sumado al bajo poder erosivo, el agua no tiene una dirección constante en estos sistemas, pues variaciones en los vientos o en la estructura del episodio lluvioso, pueden provocar la variación de la dirección de la escorrentía; consecuentemente no hay divisoria permanente de agua superficial.

A causa de lo anterior, en las llanuras, los términos verticales (precipitación - infiltración - evaporación - evapotranspiración - ascenso capilar) del balance hidrológico son mucho más importantes que los términos horizontales (escorrentía - flujo hipodérmico). Esta particularidad sirve para definir a las grandes llanuras, las cuales dependen con alta sensibilidad del clima y de la morfología del terreno. Los mencionados procesos hidrológicos tienen influencia en la disponibilidad y calidad del agua subterránea, aunque esto último también depende de las características hidrogeológicas del medio donde se mueve el agua (Fuschini Mejía, 1994; Kruse y Zimmermann, 2002).

Precisamente, una característica del territorio bonaerense es que más del 90 % de su superficie corresponde a ambientes llanos, lo cual le imprime condiciones hidrológicas particulares. Específicamente en la Pampa Deprimida, las pendientes topográficas regionales son muy poco perceptibles (entre  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ ), apenas sobrepasando alturas de 110 m.s.n.m. hacia el oeste, cerca del límite con el Sistema de Tandilia (Sala *et al.*, 1983). Lo anterior, perjudica el escurrimiento y hace que, a pesar del clima húmedo, la hidrografía presente aspectos de drenaje de tipo semiárido. Predominan los movimientos verticales de agua (evapotranspiración - infiltración) sobre los horizontales (escurrimientos), existiendo estrecha interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas. Los reducidos valores de las pendientes topográficas, la escasa expresión

morfológica de la llanura y las condiciones climáticas imperantes, llevan a que el potencial morfogenético sea muy bajo. Asociado a esto el proceso fundamental que tiene lugar es la meteorización y la formación de suelos (Fidalgo, 1983).

A lo largo de todo el territorio se producen extensas lagunas de aguas estancadas, muchas de ellas sin salida, donde el agua se acumula durante las lluvias y allí permanece evaporándose durante las sequías, constituyendo un sistema de drenaje de tipo endorreico (Tricart, 1973). En toda la provincia se observa un significativo desarrollo de cuerpos lagunares de variada extensión y características (muchos de los cuales constituyen afloramientos de agua subterránea), y una escasa relevancia de la red fluvial (Figura N° 2.5.).

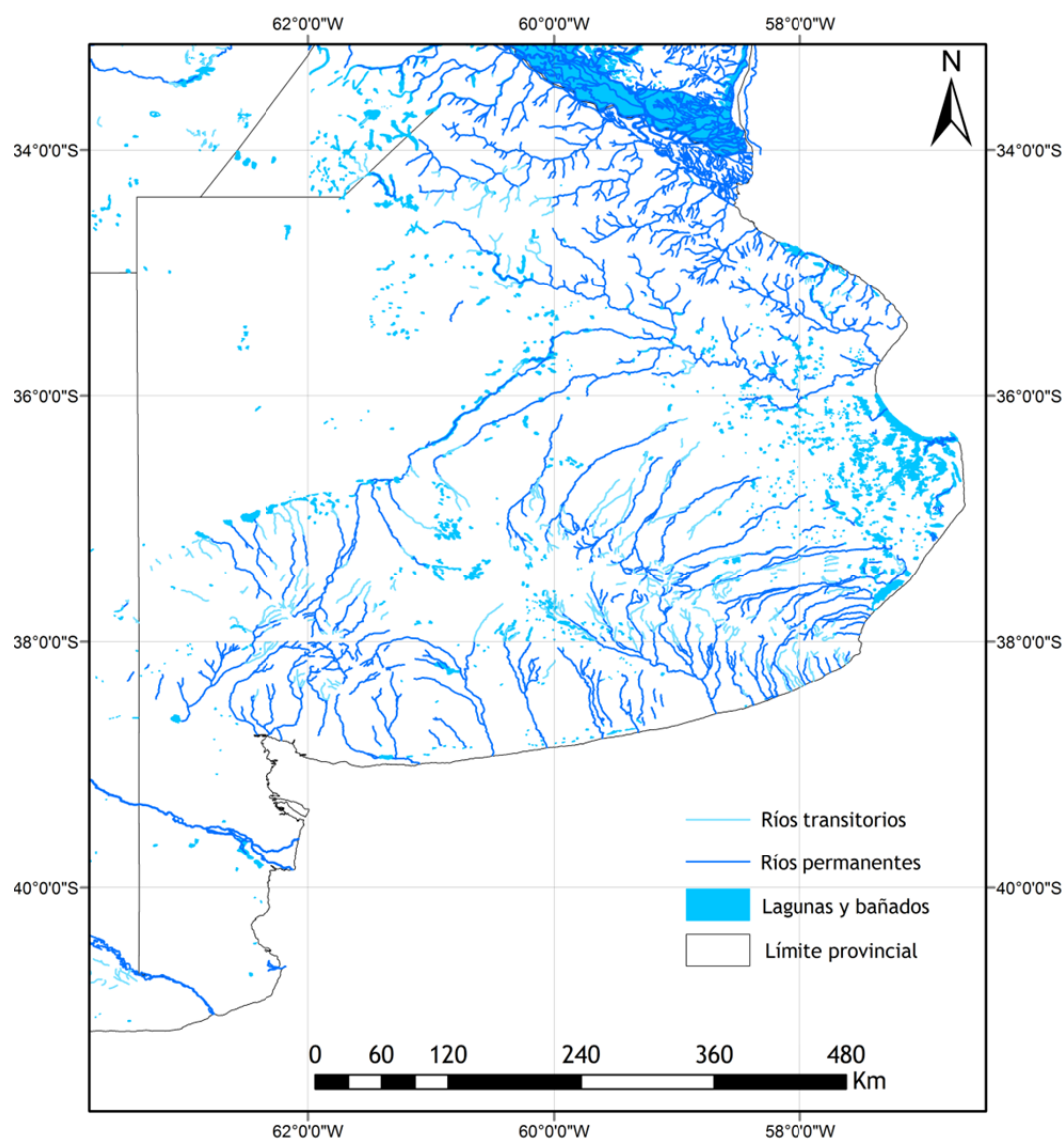


Figura N° 2. 5.: Principales cursos y cuerpos de agua de la provincia de Buenos Aires. Modificado de Instituto Nacional del Agua, 2002.

En periodos secos, las mencionadas lagunas tienden a disminuir o carecer de agua, conjuntamente con la profundización de la superficie freática, mientras que en los húmedos aflora el nivel freático, expandiéndose los espejos de agua en los sectores bajos. De acuerdo con la vinculación con la red de drenaje se reconoce que las lagunas pueden ser arreicas, endorreicas o exorreicas (Kruse y Laurencena, 2005). Suele afirmarse que tales cuerpos de agua son la expresión de puntos de descarga de las aguas subterráneas, aunque evidencias presentadas por Usunoff *et al.* (2000), indican que en buena parte del año la situación es exactamente la opuesta.

La gran mayoría de los arroyos de la Pampa Deprimida nacen sobre el límite con el sistema de Tandilia, donde aparentan tener un área generadora con drenaje fluvial adecuado, pero al ingresar a las zonas bajas comienzan a ser alimentados por aguas subterráneas, presentando características efluentes. Muchos de éstos recorren una cierta distancia y luego se secan, sin llegar a unirse con el río Salado, que es el principal colector de la red de drenaje. Como ocurre en las regiones semiáridas, la integración de la red hidrográfica apenas se realiza durante las crecidas importantes. Todos los cursos presentan valles muy amplios, de escasa altura relativa y divisorias de agua poco perceptibles. En las partes medias e inferiores los cursos más extensos carecen de afluentes, apareciendo una amplia área interfluvial entre los mismos con lagunas aisladas, donde nuevamente dominan los procesos verticales (Tricart, 1973; Kruse y Laurencena, 2005). Los arroyos de la región, entonces, son frecuentemente influentes-efluentes según el tramo y las oscilaciones climáticas, como ocurre con los casos de los arroyos del Azul, Chapaleofú, de los Huesos, Tapalqué y Brandsen, (Sala *et al.*, 1987; Laurencena, 1992; Varela, 1992).

En el subsuelo se reconoce la existencia de escurrimientos subterráneos locales y regionales (Kruse, 1992), siendo el primero el escurrimiento activo, que después de cierto recorrido aflora en los arroyos y lagunas, constituyéndose en su caudal básico. El escurrimiento regional o profundo es un flujo pasivo, sumamente lento, que en una gran llanura es generado por la diferencia entre los volúmenes ingresados y egresados del escurrimiento subterráneo local y que se debe relacionar con los espesores sedimentarios involucrados en el subsuelo. La columna hidrogeológica fue definida para la región por Hernández *et al.* (1979) (Tabla N° 2.2.). La sección superior se encuentra extendida por todo el ámbito de la llanura, y tiene gran importancia hidrogeológica por ser la única con relación directa con las fases superficial y atmosférica del ciclo hidrológico (Kruse y Zimmermann, 2002).

El área de estudio seleccionada para este trabajo queda incluida en el sector Extraserrano de la cuenca el arroyo del Azul, cuyas cabeceras se ubican en el sistema orográfico de Tandilia. Al igual que en el resto de la Pampa Deprimida, aquí se desarrolla una red de drenaje con diseño dendrítico de baja densidad, integrada por

cursos subparalelos, que no tiene actualmente el nivel de energía que elaboró los cauces de mayor extensión y profundidad. Según Sala *et al.* (1983), en superficie se desarrollan sedimentos acuíferos (a excepción de los afloramientos de rocas acuífugas localizadas en ámbitos serranos), compuestos por depósitos que genéricamente se conocen como “Pampeanos” y “Postpampeanos”.

En la cuenca del arroyo del Azul, el perfil geológico vertical se compone de la siguiente manera (Sala *et al.*, 1983; Weinzettel *et al.*, 2009; Zabala *et al.*, 2006) (Tabla N° 2.3.):

Tabla N° 2. 2.: Columna hidrogeológica para la Pampa Deprimida (Hernández *et al.*, 1979)

Sección	Características hidrogeológicas (Hernández <i>et al.</i> , 1979)
Epiparaniana	Sedimentos pelíticos, limos loessoides, resultando en una formación de baja permeabilidad, donde se insertan lentes de mediana permeabilidad portadoras de niveles productivos
Paraniana	Sedimentos acuícludos con intercalaciones de acuíferos productivos de contenido salino considerable.
Hipoparaniana	Sedimentos acuíferos de permeabilidad variada y acuícludos, con edades desde el Cretácico al Mioceno Inferior
Basamento	Rocas acuífugas

Tabla N° 2. 3.: Perfil geológico vertical para la cuenca del Azul (elaborada a partir de Sala *et al.*, 1983, Weinzettel *et al.*, 2009 y Zabala *et al.*, 2006).

DOMINIO SERRANO (cuenca superior)	DOMINIO EXTRASERRANO (cuenca inferior)
<b>Formación Postpampeano</b> Aflora en casi toda la cuenca y sobre ella se asienta el ciclo hidrológico actual. Está constituida por arenas limosas y limos arenosos de origen eólico. Estos materiales presentan notable anisotropía vertical y horizontal por la alternancia de niveles arcillosos y de tosca entre el material limoso, variable según la zona y los procesos que depositaron los sedimentos. Su configuración no pudo haberse generado en las condiciones climáticas imperantes actualmente.	
<b>Formación Pampeano</b> Gradación de arenas limosas a limos arenosos con cantidades subordinadas de arcilla, de origen eólico, que constituyen materiales acuíferos con valores de permeabilidad local del orden de 5 a 10 m/día. Predominio de material calcáreo en superficie (tosca) con doble porosidad, lo cual se evidencia en la densidad de la red de drenaje, su morfología superficial, y las características del agua subterránea que le subyace. En el sector llano tiene hasta 90 m de espesor.	
Basamento cristalino	Formación Puelche
	Formación Paraná
	Basamento cristalino

Según Varni *et al.* (2014) la recarga al acuífero freático que se produce en todo el sector serrano contribuye al caudal fluvial a través del caudal base (flujo subterráneo somero), al flujo subterráneo regional (flujo subterráneo profundo), a las pérdidas por evapotranspiración directa desde el nivel freático y extracciones por bombeo, siendo la misma un 18 % de la precipitación registrada anualmente para los últimos 20 años. De forma general, las profundidades del piso del acuífero y del nivel freático son 120 m y 5 m, respectivamente. A causa de esto, variaciones del nivel freático afectan principalmente al caudal base, mientras que el flujo subterráneo regional permanece aproximadamente constante.

El sentido general del flujo del agua subterránea es hacia el noreste coincidiendo con el de la escorrentía superficial y con la pendiente topográfica regional (Zabala, 2013). Los gradientes hidráulicos verticales entre los 3 y los 30 m son muy pequeños, lo que sugiere que el agua se mueve de forma preferentemente horizontal. En el ambiente serrano los gradientes son superiores a 2 m/km y el flujo es convergente hacia los arroyos; en el ambiente llano, al norte de la ciudad de Azul la piezometría es plana y los gradientes son del orden de 1 m/km (Sala *et al.*, 1987), indicando que el agua se mueve muy lentamente. Estudios de la zona no saturada de los suelos más conspicuos de la cuenca verifican que solo eventos discretos de lluvia en suelos con alta humedad antecedente pueden llegar a producir elevaciones del nivel freático (Usunoff *et al.*, 2000).

En los sectores de cuenca alta y media las aguas freáticas son de tipo bicarbonatadas-cálcicas/magnésicas y en el sector medio son bicarbonatadas sódicas. Hacia el norte de la cuenca las aguas aumentan de salinidad, siendo de tipo cloruradas-sódicas y presentando características de contaminación por aguas residuales, probablemente de origen agropecuario, lo cual contribuye notablemente a incrementar su salinidad (Zabala *et al.*, 2014). Según estos mismos autores, los balances de masa y la modelación hidrogeoquímica de los mismos sugieren que los cambios de composición química que ocurren durante la recarga en cuenca alta pueden ser explicados por los fenómenos de evapoconcentración, disolución de CO<sub>2</sub> edáfico, disolución de dolomita y anortita, intercambio iónico de Ca<sup>2+</sup> en solución por Na<sup>+</sup> adsorbido y precipitación de montmorillonita cálcica, principalmente.

## 2.5. Características ecológicas

Las condiciones climáticas, topográficas, edáficas e hidrológicas determinan que la Ecorregión Pampa se encuentre ocupada por pastizales de distinto tipo (Tabla N° 2.4.), los cuales se diferencian en sus estructuras verticales y horizontales y en el ensamble de especies que habitan en cada uno (Matteucci, 2012).

Tabla N° 2. 4.: Características de la vegetación en los Complejos de la Ecorregión Pampa (Matteucci, 2012). Se excluye la Pampa Deprimida.

COMPLEJO	CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN
Pampa Mesopotámica	El paisaje original es de pastizales y praderas, alternando con arbustales y diseccionados por los bosques de galería; hacia el este se encuentran palmares de <i>Butia yatay</i> . Gran parte del área está modificada por la actividad agropecuaria. En los pastizales abundan géneros subtropicales como <i>Axonopus</i> , <i>Paspalum</i> , <i>Digitaria</i> , <i>Schizachyrium</i> y <i>Bothriochloa</i> . El bosque de galería tiene un estrato cerrado arbóreo compuesto por <i>Myrcianthes cisplatensis</i> , <i>Scutia buxifolia</i> , <i>Schinus longifolia</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> . La sabana está formada por leñosas dispersas (principalmente <i>Acacia caven</i> ), y una matriz herbácea con <i>Melica macra</i> , <i>Baccharis coridifolia</i> , <i>Aristida murine</i> , <i>Eleusine tristachya</i> , <i>Paspalum spp</i> , <i>Piptochaetium spp</i> , etc.
Pampa Llana	Representa la prolongación de las planicies de la Ecorregión Espinal. Allí, los relictos de pastizal en suelos bien drenados están dominados por <i>Nassella neesiana</i> , <i>Nassella hyalina</i> , <i>Bromus catharticus</i> , <i>Setaria parviflora</i> y <i>Paspalum dilatatum</i> . En sectores algo deprimidos y encharcables, con suelos afectados por sales y álcalis, se encuentran matorrales o bosques bajos formados por <i>Geoffroea decorticans</i> , <i>Prosopis algarrobilla</i> , <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> , <i>Prosopis nigra</i> , <i>Prosopis alba</i> , <i>Parkinsonia aculeata</i> , etc. En relieves cóncavos de anegamiento periódico y suelos salino-alcálinos, la vegetación predominante está compuesta por <i>Spartina</i> sp., <i>Distichlis</i> sp. Y <i>Salicornia</i> sp.
Pampa Ondulada	La vegetación natural es el pastizal, reemplazado por cultivos y leñosas exóticas. En las lomadas de suelos fértiles, el flechillar está dominado por <i>Bothriochloa laguroides</i> , <i>Nassella neesiana</i> , <i>Piptochaetium montevidensis</i> , <i>Aristida murina</i> y <i>Jarava plumosa</i> . Las barrancas del Paraná y sus tributarios al norte y los cordones de conchilla al este, están cubiertos por bosques xeromórficos de <i>Celtis tala</i> y <i>Scutia buxifolia</i> . La terraza baja y llana (de 2 a 5 m.s.n.m.), incluye llanos, bañados, y albardones: allí alternan juncales, espartillares, pajonales, totorales y comunidades flotantes, dependiendo del grado de anegamiento. Sobre los albardones de la costa aparece el bosque higrófilo denso o selva marginal, la formación de mayor riqueza y diversidad específica.
Pampa Arenosa	Complejo más extenso de la región, donde predominan pastizales psamófilos, halófilos y pajonales en sitios bajos y alrededor lagunas. En el pastizal psamófilo poco modificado dominan <i>Sorghastrum pellitum</i> y <i>Elionurus muticus</i> , acompañados de hierbas perennes ( <i>Glandularia hookeriana</i> , <i>Macrosiphonia petrae</i> , <i>Mitracarpus megapotamicus</i> ). En depresiones y lagunas se desarrollan totorales ( <i>Typha dominguensis</i> y <i>T. latifolia</i> ), juncales ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) o espadañales ( <i>Zizaniopsis bonariensis</i> ). En humedales salobres dominan el espartillar (de <i>Spartina alterniflora</i> o <i>S. densiflora</i> ). En los suelos halomórficos, predomina la estepa baja ( <i>Distichlis scoparia</i> , <i>Sporobolus pyramidatus</i> , <i>Paspalum vaginatum</i> , <i>Chloris berroi</i> , <i>Leptochloa fusca</i> ssp. <i>uninervia</i> , etc.).



Pampa Arenosa Anegable	Dominan los pastizales psamófilos y los pastizales semiáridos, aunque quedan muy pocos con vegetación natural. Sobre los suelos de texturas más finas hay pastizales de <i>Amelichloa brachychaeta</i> y <i>Nassella trichotoma</i> . En sitios arenosos hay pastizales de <i>Sporobolus rigens</i> y <i>Panicum urvilleanum</i> , acompañados por el arbusto <i>Hyalis argentea</i> . Hacia el norte domina el paisaje halomórfico formado por lagunas conectadas entre sí: allí crecen, en los planos sobreelevados, flechillares de <i>Nassella trichotoma</i> , <i>Nassella tenuissima</i> , <i>Jarava plumosa</i> y <i>Hordeum stenostachys</i> . En los planos bajos hay pastizales halófilos de <i>Distichlis</i> spp y en los sitios inundables crecen espartillares de <i>Spartina densiflora</i> .
Pampa Medanosa	La vegetación natural es la estepa psamófila, pero no queda ningún relicto importante; todo el área ha sido convertida a cultivos. El pastizal original probablemente era un sorgastral, de <i>Koeleria permollis</i> , <i>Sorghastrum pellitum</i> , <i>Poa ligularis</i> , <i>Eragrostis lugens</i> y <i>Nassella clarazii</i> , típico de los médanos del centro de Argentina. En áreas medanosas no cultivadas hay pastizales psamófilos bajos de <i>Poa lanuginosa</i> , <i>Panicum urvilleanum</i> , <i>Cenchrus pauciflorus</i> , <i>Oenothera indecora</i> , <i>Bromus brevis</i> , <i>Cynodon hirsutus</i> , etc. La vegetación natural remanente son comunidades de halófitas ubicadas alrededor de lagunas (dominados por <i>Distichlis</i> spp., <i>Atriplex undulata</i> o <i>Salicornia ambigua</i> ). En áreas menos salinas hay <i>Jarava plumosa</i> y <i>Cyclolepis genistoides</i> .
Planicie Periserrana Distal	La vegetación natural es el pastizal alternando con parches de bosque bajo abierto típico del Espinal, aunque predominan las parcelas de cultivo. La vegetación del espinal se mezcla con el pastizal, generándose bosques bajos, abiertos, de un estrato, en la matriz de pastizal, formados por especies leñosas xerófilas, como <i>Prosopis alba</i> y <i>Prosopis nigra</i> , acompañados por <i>Acacia caven</i> , <i>Geoffroea decorticans</i> y <i>Celtis tala</i> . Las comunidades de pastizal son como las del Complejo Pampa Arenosa, al igual que las de los bajos salinos y los bordes de las lagunas.
Lagunas Encadenadas	Los tipos de vegetación dominantes son el pastizal pampeano, el pastizal psamófilo, los juncuales y parches de bosque xerófilo con pastizal; solo quedan relictos de su vegetación natural ya que toda el área está convertida a uso agropecuario. Expandiéndose radialmente desde el borde hacia afuera de las lagunas hay pajonales (de <i>Eryngium eburneum</i> o <i>Paspalum quadrifarium</i> ), pastizal halófilo ( <i>Distichlis spicata</i> y <i>Sarcocornia perennis</i> ), pastizal pampeano (de <i>Stipa</i> spp. y <i>Piptochaetium</i> spp., invadido de especies exóticas) y bosque xerófito en matriz de pastizal ( <i>Acacia caven</i> , <i>Parkinsonia aculeata</i> , <i>Prosopis caldenia</i> ).
Pampa Interserrana	La vegetación natural es un pastizal denso en el que predominan <i>Nassella neesiana</i> , <i>N. clarazii</i> , <i>N. trichotoma</i> , <i>N. tenuis</i> , <i>Piptochaetium napostaense</i> , <i>P. lejopodum</i> , <i>Poa ligularis</i> , entre otras. Prácticamente no hay sufrutices ni arbustos. En suelos levemente alcalinos, las comunidades están dominadas por <i>Sporobolus pyramidatus</i> , <i>Sporobolus indicus</i> , <i>Jarava plumosa</i> , <i>Bouteloua megapotamica</i> , y las hierbas <i>Jaborosa runcinata</i> y <i>Solanum juvenale</i> .

Sierras Bonaerenses	La vegetación de los piedemontes es un pastizal dominado por los géneros <i>Nassella</i> y <i>Piptochaetium</i> . Los pastizales de sitios rocosos y cerros están dominados por <i>Paspalum quadrifarium</i> o por hierbas como <i>Eryngium eburneum</i> , <i>E. paniculatum</i> , <i>E. horridum</i> , <i>E. serra</i> y <i>E. elegans</i> . En sitios más húmedos domina <i>Cortaderia selloana</i> . En los suelos profundos y bien aireados, se desarrollan arbustales densos bajos de por <i>Colletia paradoxa</i> y <i>Dodonaea viscosa</i> . Hay arbustales menos densos de <i>Baccharis tandilensis</i> , <i>Eupatorium buniifolium</i> (Tandilia), <i>Discaria americana</i> y <i>Wedelia</i> sp (Ventania).
---------------------	---

La flora nativa de las Pampas comprende unas mil especies de plantas vasculares. Según el tradicional trabajo de fitogeografía de la República Argentina de Ángel L. Cabrera (1971), la Provincia Fitogeográfica Pampeana (cuyos límites prácticamente coinciden con la Ecorregión Pampa), presenta como formación vegetal predominante una estepa de gramíneas, existiendo también praderas, estepas psamófilas y halófitas, bosques marginales y diversos tipos de vegetación hidrófita. Desde el punto de vista florístico, la región se caracteriza por la predominancia absoluta de gramíneas cespitosas, especialmente los géneros *Nassella*, *Piptochaetium*, *Aristida*, *Melica*, *Briza*, *Bromus*, *Eragrostis*, *Poa*, *Paspalum* y *Panicum*, además de algunos arbustos y otras plantas herbáceas dicotiledóneas.

Aunque disminuida en la actualidad, la fauna nativa de los pastizales pampeanos incluye abundantes mamíferos y aves (Krapovickas & Di Giacomo, 1998; Real *et al.*, 2003), entre los cuales se destacan especies como el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), el ñandú (*Rhea americana*), las perdices (*Rynchotus rufescens*, *Nothura* sp., *Eudromia elegans*), la vizcacheta (*Lagostomus maximus*) y el puma (*Puma concolor*). De las más de cuatrocientas especies de aves registradas en la zona, unas trescientas habitan regularmente en las Pampas. Los ambientes acuáticos se destacan por la abundancia y variedad de anátidos (patos y cisnes) y rálidos (gallaretas y pollas), además de la presencia del coipo (*Myocastor coypus*). Los pastizales y humedales pampeanos son importantes centros de concentración de aves migratorias del hemisferio norte y de la Patagonia (Matteucci, 2012; Viglizzo *et al.*, 2005).

El complejo Pampa Deprimida, específicamente, queda incluido dentro del Distrito Pampeano Oriental de la Provincia Pampeana propuesta por Cabrera (1971). La observación rápida de la vegetación de la región da idea de una gran uniformidad: domina la vegetación graminosa, salpicada por bosquecillos y arboledas artificiales, cultivos agrícolas de pequeña extensión y espejos de agua más o menos extensos. Sin embargo, cuando se observa detenidamente, se comprueba la existencia de diferentes comunidades, entre las que se destacan flechillares, pajonales de paja colorada,

praderas de flechillas, praderas húmedas, praderas saladas, duraznillares, hunquillares, juncuales, totorales, espadañales y talaes (Voorst, 1967).

La comunidad *climax* es el flechillar de *Piptochaetium montevidense*, *Nassella neesiana* y *Bothriochloa laguroides*, acompañados de otros pastos muy frecuentes como *Jarava plumosa*, *Piptochaetium bicolor*, *Chascolytrum brizoides*, *Melica brasiliana*, *Danthonia montevidensis*, *Poa bonariensis*, *Aristida murina*, etc. además de numerosas especies herbáceas no graminiformes y algunos arbustos de poca altura (Cabrera, 1971). Esta asociación se encuentra generalmente alterada o reemplazada por la ganadería y la agricultura, conservándose solo escasos relictos, probablemente modificados. El flechillar alberga, además, numerosas especies exóticas que frecuentemente compiten en abundancia con los elementos nativos, como por ejemplo, *Medicago polymorpha*, *Lotus tenuis*, *Carduus acanthoides*, *Cynara cardunculus*, *Hypochaeris radicata*, *Poa annua*, *Briza minor*, *Cynodon dactylon*, etc. En toda la depresión, es frecuente la presencia de pajonales dominados por *Paspalum quadrifarium* (paja colorada), una gramínea formadora de matas altas y densas, acompañada por especies propias del flechillar. Tanto pajonales como flechillares varían en su composición de especies de acuerdo con las características del suelo, la pendiente y el régimen de drenaje local.

Además de la presencia de flechillares, en la Pampa Deprimida son muy numerosas las comunidades edáficas: en depresiones, lagunas y orillas de los cursos de agua son frecuentes los juncuales de *Schoenoplectus californicus*, los totorales de *Typha* sp. así como los espadañales o pajonales de espadaña (*Zizaniopsis bonariensis*) y duraznillares de *Solanum glaucophyllum*, apareciendo frecuentemente acompañados de especies flotantes como las lentejas de agua (géneros *Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia*, etc.) y el helechito de agua (*Azolla filiculoides*), entre otras. En suelos con alcalinidad y/o salinidad en superficie hay praderas de pastos salados (*Distichlis* sp.), hunquillares de *Juncus acutus* y espartillares de *Sporobolus densiflorus* principalmente en cangrejales al este de la región. En las dunas costeras estabilizadas, aparecen comunidades psamófilas con predominio de *Sporobolus coarctatus*, *Panicum racemosum* o *Adesmia incana*. En cordones de conchillas y lomadas altas de la parte más oriental de la depresión, que son paralelos a la costa del río de La Plata y del Atlántico, se hacen presentes los talaes, donde domina *Celtis ehrenbergiana* acompañado por otras especies como *Jodina rhombifolia*, *Scutia buxifolia*, *Schinus longifolius*, *Sambucus australis*, *Acacia caven* y *Zanthoxylum fagara*, entre otros (Cabrera, 1971; Voorst 1967) (Figura N°2.6.).

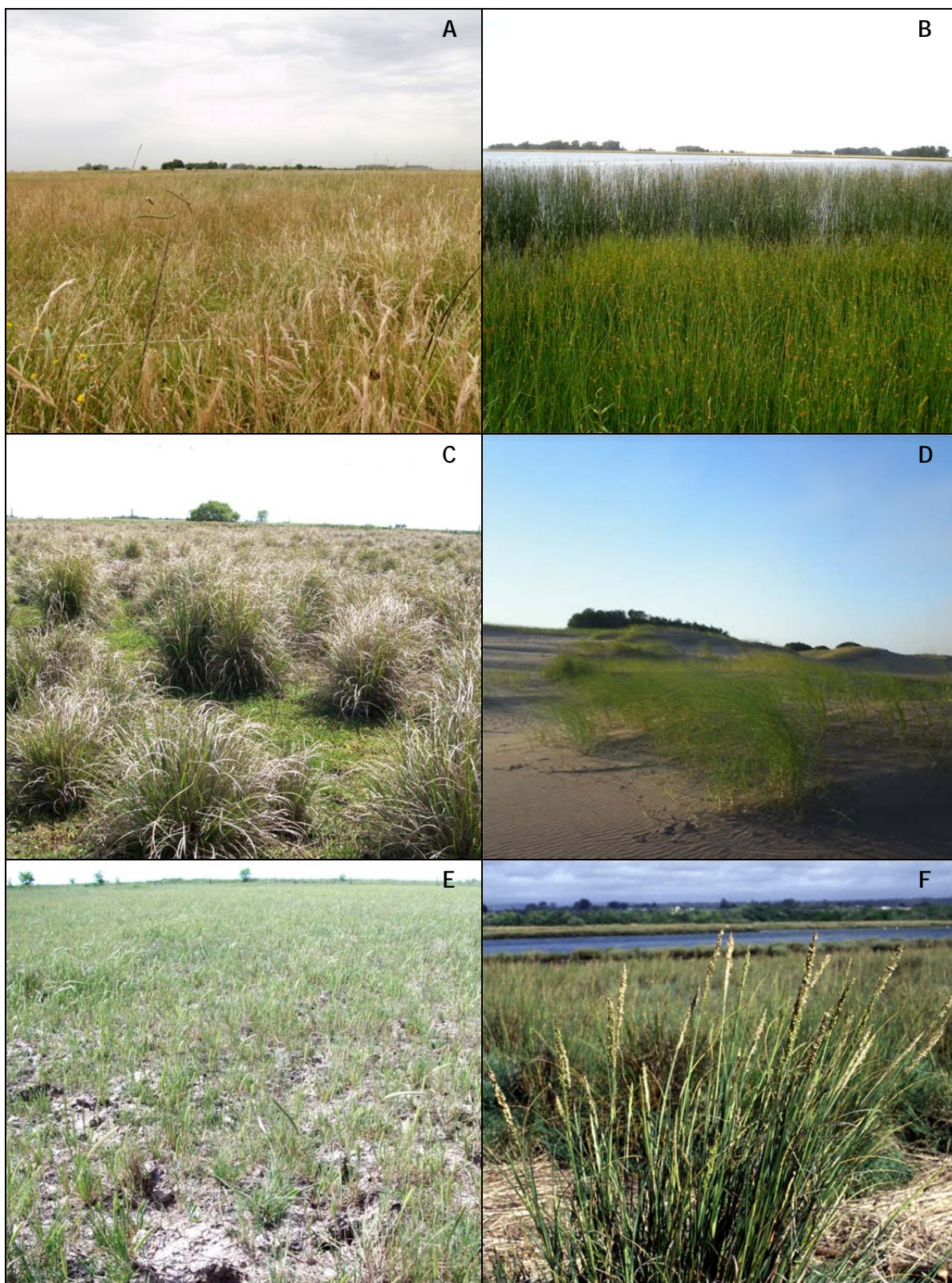


Figura N° 2. 6.: Fotografías de comunidades típicas del pastizal pampeano. A. Flechillar. B. Juncal de *Schoenoplectus californicus*. C. Pajonal de *Paspalum quadrifarium*. D. Comunidades psamófilas. E. Praderas saladas de *Distichlis* spp. F. Espartillar de *Sporobolus densiflorus*.

La heterogeneidad florística del pastizal de la Pampa Deprimida fue descrita primero por Vervoorst (1967) y luego analizada en una serie de estudios fitosociológicos (León *et al.*, 1979; Batista *et al.*, 1988; Burkart *et al.*, 1990; Burkart *et al.*, 1998). Los mismos fueron luego sintetizados en una clasificación general de las comunidades vegetales del pastizal por Perelman *et al.* (2001), en 5 grandes unidades de vegetación denominadas Praderas de Mesófitas, Praderas Húmedas de Mesófitas, Praderas de Hidrófitas o Vegas de Ciperáceas, Estepas de Halófitas y Estepas Húmedas de Halófitas. Cada una de éstas reúne dos o tres variantes o tipos de comunidad que pueden ser reconocidas en el campo por una particular combinación de grupos de especies vegetales definidos en una tabla fitosociológica. Los mismos autores encontraron que, a pesar la existencia de gradientes climáticos latitudinales que se desarrollan a lo largo de distancias de cientos de kilómetros a través de la región, una gran proporción de la variación en la composición de especies queda incluida en áreas pequeñas de entre 0,1 y 10 km<sup>2</sup>, siendo responsables de esta diversidad las variaciones topográficas mínimas y la existencia de parches con alta salinidad edáfica. La heterogeneidad florística a escala regional se manifiesta únicamente en la relación entre especies C3 y C4 en pastizales de zonas más elevadas, y es simplemente una repetición sucesiva del patrón de heterogeneidad que aparece en distancias cortas.

En escala de paisaje la heterogeneidad florística de los pastizales de la Pampa Deprimida, está asociada con la heterogeneidad geomorfológica y edafológica. El arreglo espacial de la vegetación queda constituido por un mosaico de comunidades herbáceas (Burkart *et al.*, 1990), donde la composición de especies responde a variaciones locales en la topografía y la salinidad del suelo, además de haber sido modificada por siglos de pastoreo por parte del ganado doméstico que no solo modificó la composición de especies nativas, sino que también favoreció la introducción de numerosas especies exóticas (León *et al.*, 1984; Sala *et al.*, 1986).

El pastizal está típicamente constituido por un mosaico de stands de superficie variable entre algunas decenas de metros cuadrados y varias decenas de hectáreas, los cuales tienen límites claramente reconocibles y, dentro de ellos, la composición florística es relativamente homogénea (Batista *et al.*, 2005). Las características del ambiente relacionadas con la humedad y con la salinidad de los suelos serían los principales controles de la heterogeneidad del pastizal, variando a lo largo de esos gradientes la estructura, composición florística, diversidad y productividad del pastizal (Perelman *et al.*, 1982; Batista *et al.*, 1988; Batista y León, 1992; Perelman *et al.*, 2001).

Tres de las grandes unidades de vegetación mencionadas se corresponden con el gradiente topográfico: las Praderas de Mesófitas se ubican en áreas convexas o con relieve positivo, siendo los sitios más elevados y correspondiéndose con suelos profundos, bien drenados, ácidos y no salinos, generalmente de los grandes grupos Argiudoles, Hapludoles y Natracuoles; por su parte, las Praderas Húmedas de Mesófitas



ocupan áreas planas en posiciones topográficas intermedias, en suelos con horizontes A ácidos, no salinos y horizontes B fuertemente alcalinos, salinos, típicamente Natracuoles y Natralboles; finalmente, en las áreas más bajas con relieve plano o plano cóncavo se encuentran las Praderas de Hidrófitas, en sitios donde el agua subterránea se encuentra muy cercana a la superficie sujetos a inundaciones periódicas. Típicamente los suelos que albergan las comunidades de esta unidad pertenecen a los grandes grupos Argialboles y Argiacuoles, fluctuando entre ácidos en todo el perfil a ácidos en superficie y alcalinos en profundidad (Perelman *et al.*, 2001; Batista *et al.*, 2005). Las dos unidades de vegetación restantes ocupan sitios con salinidad edáfica: las Estepas de Halófitas se ubican en pequeñas depresiones en áreas planas, o en anillos rodeando áreas húmedas, correspondiéndose con suelos poco profundos, alcalinos, con alto contenido de sales en los horizontes superficiales, típicamente del gran grupo Natracualfes; las Estepas Húmedas de Halófitas ocupan posiciones negativas en los valles fluviales y canales de marea pobremente drenados, en suelos aluviales salino-sódicos, generalmente incluidos dentro de los Natracualfes (Perelman *et al.*, 2001; Batista *et al.*, 2005).

La correspondencia entre suelos y comunidades vegetales permite suponer que la heterogeneidad del ambiente edáfico controla en buena medida la distribución de las especies vegetales en el paisaje (Batista, 1991; Perelman, 1996). Dicha correspondencia es clara para Praderas de Mesófitas, Praderas de Hidrófitas y Estepas de Halófitas, presentando estas unidades diferencias de estructura asociadas con la heterogeneidad del ambiente edáfico: normalmente, se encuentran dominadas por pastos cespitosos invernales y estivales, por ciperáceas graminoides y Pteridofitas, y por gramíneas rizomatosas de verano y el alga *Nostoc* spp., respectivamente. Las Praderas Húmedas de Mesófitas, en cambio, aparecen asociadas con suelos cuyos regímenes de aireación y humedad serían intermedios, y no contienen grupos florísticos exclusivos sino que están formadas por especies cuya distribución es relativamente amplia (Batista *et al.*, 1988; Burkart *et al.*, 1990; Perelman *et al.*, 2001). Estas diferencias sugieren que los regímenes de aireación y humedad del suelo, variables en relación con la topografía y con la permeabilidad y la salinidad de los suelos, serían los principales controles de la composición de estos pastizales (Batista *et al.*, 1988). El control edáfico, entonces, opera en algunos casos de modo directo mediante, por ejemplo, la selección de especies tolerantes a la salinidad o los regímenes de anegamiento, y en otros de modo indirecto influyendo sobre componentes del ambiente biótico, como la herbivoría o la intensidad de la competencia entre las especies vegetales. Los regímenes ambientales asociados con los diferentes suelos seleccionarían, entre las especies de la flora de la región, aquellas capaces de establecerse en cada stand (Batista *et al.*, 2005).

Al igual que ocurre en otras regiones del mundo, los pastizales de la Pampa Deprimida son pastoreados por herbívoros domésticos. El pastoreo modifica enérgicamente la estructura de la vegetación, produciendo cambios en la arquitectura del canopeo, la composición de especies, la diversidad y la heterogeneidad espacial (Sala *et al.*, 1986; Chaneton y Facelli, 1991). La perturbación por herbivoría se debe a la remoción de hojas y otros órganos, e indirectamente a las modificaciones que provoca en el ambiente. El ganado selecciona las especies vegetales más palatables, lo que determina que sean defoliados individuos de algunas especies y no de otras (Crawley, 1996). En los pastizales de la Pampa Deprimida, la introducción de grandes herbívoros domésticos ha provocado un aumento en la abundancia y la diversidad de especies dicotiledóneas nativas del pastizal, así como la invasión de exóticas (Sala *et al.*, 1986; Facelli, 1988; Chaneton *et al.*, 2002). En general, las dicotiledóneas nativas y exóticas son muy poco preferidas por el ganado vacuno, o presentan formas de crecimiento postradas que reducen su accesibilidad para los herbívoros. El cambio en la proporción de pastos y hierbas planófilas es acompañado por el achatamiento de la estructura vertical del canopeo foliar y la miniaturización de matas de pastos. Bajo pastoreo continuo, las graminoides disminuyen su biomasa aérea (Sala *et al.*, 1986; Facelli, 1988; Insausti *et al.*, 2005).

Las características climáticas, geomorfológicas, edafológicas e hidrológicas de la Pampa Deprimida (Apartados 2.1. a 2.4.) hacen que los pastizales del área estén sometidos a inundaciones periódicas. El anegamiento de las zonas bajas del paisaje ocurre con intensidad y frecuencia variables, asociado a las fluctuaciones de los niveles freáticos y a la ocurrencia de precipitaciones intensas. El anegamiento prolongado del pastizal durante las grandes inundaciones constituye una fuerza de nivel jerárquico muy superior al de la comunidad vegetal y los grupos funcionales que la componen (Allen y Starr, 1982; O'Neill *et al.*, 1986), por lo que su influencia sobre las comunidades vegetales ha sido analizada por varios autores en otras regiones del mundo (Holberg & Bischoff, 1980; Jackson & Drew, 1984; Pezeshki, 1994; Maltchik *et al.*, 2007; Gerard *et al.*, 2008; Reid *et al.*, 2011), así como en la Pampa Deprimida (Insausti & Soriano, 1987; Chaneton *et al.*, 1988; Chaneton & Facelli, 1991; Insausti *et al.*, 1995; Insausti, 1996; León & Burkart, 1998; Insausti *et al.*, 2005; Striker *et al.*, 2011; Entraigas *et al.*, 2017). Para esta región, los distintos trabajos concluyen que la alteración de la estructura de la comunidad que producen las inundaciones prolongadas obedece a la existencia de 2 grupos funcionales principales con diferentes respuestas a este disturbio: 1. Especies dicotiledóneas, muchas de las cuales son adventicias, que disminuyen su abundancia o algunas casi desaparecen con los anegamientos. 2. Especies graminoides, generalmente nativas, que responden positivamente a la inundación aumentando la biomasa aérea del pastizal, por presentar mayor ritmo fotosintético y mayor potencial agua en esa condición que a capacidad de campo. De esta manera, las inundaciones en la Pampa Deprimida, revierten los efectos del pastoreo sobre la estructura y la composición del pastizal en un plazo de tiempo relativamente corto.

Teniendo en cuenta las características hidrológicas de la Pampa Deprimida, Kandus *et al.* (2011) consideran que toda la región forma parte de los humedales del sector noreste y centro del país, conjuntamente con los Bajos Submeridionales, el Delta del Paraná y los cursos fluviales relacionados a la cuenca del Paraná, Bermejo, Pilcomayo y Paraguay, además de la Laguna de Mar Chiquita (Córdoba) y los Esteros del Iberá (Corrientes). Estos humedales se manifiestan en grandes extensiones geográficas y se expresan de manera frecuente como matriz del paisaje, siendo macrosistemas de origen fluvial asociados a sectores de la vasta llanura Chaco-Pampeana, cuya área y permanencia es dependiente de los aportes de agua superficial (lluvias y descargas de los ríos) y del tiempo de alternancia inundación-sequía. En escala de mayor detalle, sin embargo, en estos macrosistemas aparece una trama intrincada de elementos del paisaje de diferente naturaleza y origen.



### Capítulo N° 3: METODOLOGÍA

#### 3.1. Área de estudio

El área de estudio seleccionada corresponde a un sector de la cuenca inferior del arroyo del Azul ( $36^{\circ} 26' - 36^{\circ} 46'$  Latitud sur;  $59^{\circ} 36' - 60^{\circ} 01'$  Longitud oeste) considerado homogéneo en cuanto a sus características morfológicas. Sus límites coinciden con la porción más llana de la unidad geomorfológica denominada Planicie de Agradación con Costra Calcárea Estratiforme (PACCE) descripta por Zárate y Mehl (2010).

La PACCE, situada en el sector noroeste de la cuenca, abarca una superficie aproximada de 1114,11 km<sup>2</sup>. Litológicamente está formada por limos castaño-rojizos, compactos y carbonatados, que exhiben estructuras sedimentarias de corriente y sectores canalizados con clastos de costras calcáreas, inmersos en una matriz limosa. Rematan en un encostramiento calcáreo estratiforme (potencia promedio 0,50- 1,00 m), compuesto por bancos de unos 5-10 cm de espesor individual. Por encima de la costra calcárea se dispone una cubierta sedimentaria muy somera (0,50-0,70 m de potencia), muy modificada por pedogénesis. Los perfiles de suelo exhiben un alto grado de desarrollo relativo con horizontes Bt de espesor destacable. El sustrato suelo-costra calcárea genera encharcamientos superficiales, así como condiciones de drenaje interno deficiente en el perfil de suelo. En esta unidad geomorfológica es posible reconocer geoformas que exceden los límites de todas las unidades identificadas en la cuenca del arroyo del Azul: los canales de drenaje, las cubetas de deflación, y las dunas longitudinales y parabólicas (Zárate y Mehl, 2010).

Si se considera la subdivisión propuesta por Sala *et al.* (1987) para la cuenca del arroyo del Azul, la PACCE incluye un sector ubicado en la cuenca intermedia (53,7% del área) y otro en la cuenca inferior (515,97 km<sup>2</sup>). Específicamente, la cuenca inferior se ubica aguas abajo de la ciudad de Azul, por debajo de 130 m.s.n.m, con pendientes entre 0,1-0,2 %. Allí, no se aprecian variaciones destacables del relieve; la red de drenaje no está integrada, es menos densa, y su orientación tiende a ser subparalela con respecto al curso principal (dirección general de escurrimiento hacia el cuadrante nor-noreste). El movimiento del agua subterránea tiene una tendencia general plana con gradientes hídricos del orden de 1 m/km, siendo el carácter efluente del arroyo menos marcado en este sector (Sala *et al.*, 1987).

Considerando que se pretendió analizar la heterogeneidad del paisaje en un sector de la Pampa Deprimida ocupado por pastizales naturales, se decidió no incluir en el análisis al área de la PACCE ubicada en la cuenca intermedia, debido a que es considerada una zona de transición entre la Pampa Deprimida y el Complejo Sierras Bonaerenses (Sistema de Tandilia), y a la fuerte intervención que presenta el paisaje por encontrarse allí la ciudad y sus principales vías de acceso.

Dentro del área finalmente seleccionada (Figura N° 3.1.) dominan los típicos pastizales de la Pampa Deprimida, caracterizados por la dominancia de gramíneas que alternan con hierbas latifoliadas, sometidos a anegamientos periódicos y destinados a la ganadería extensiva.

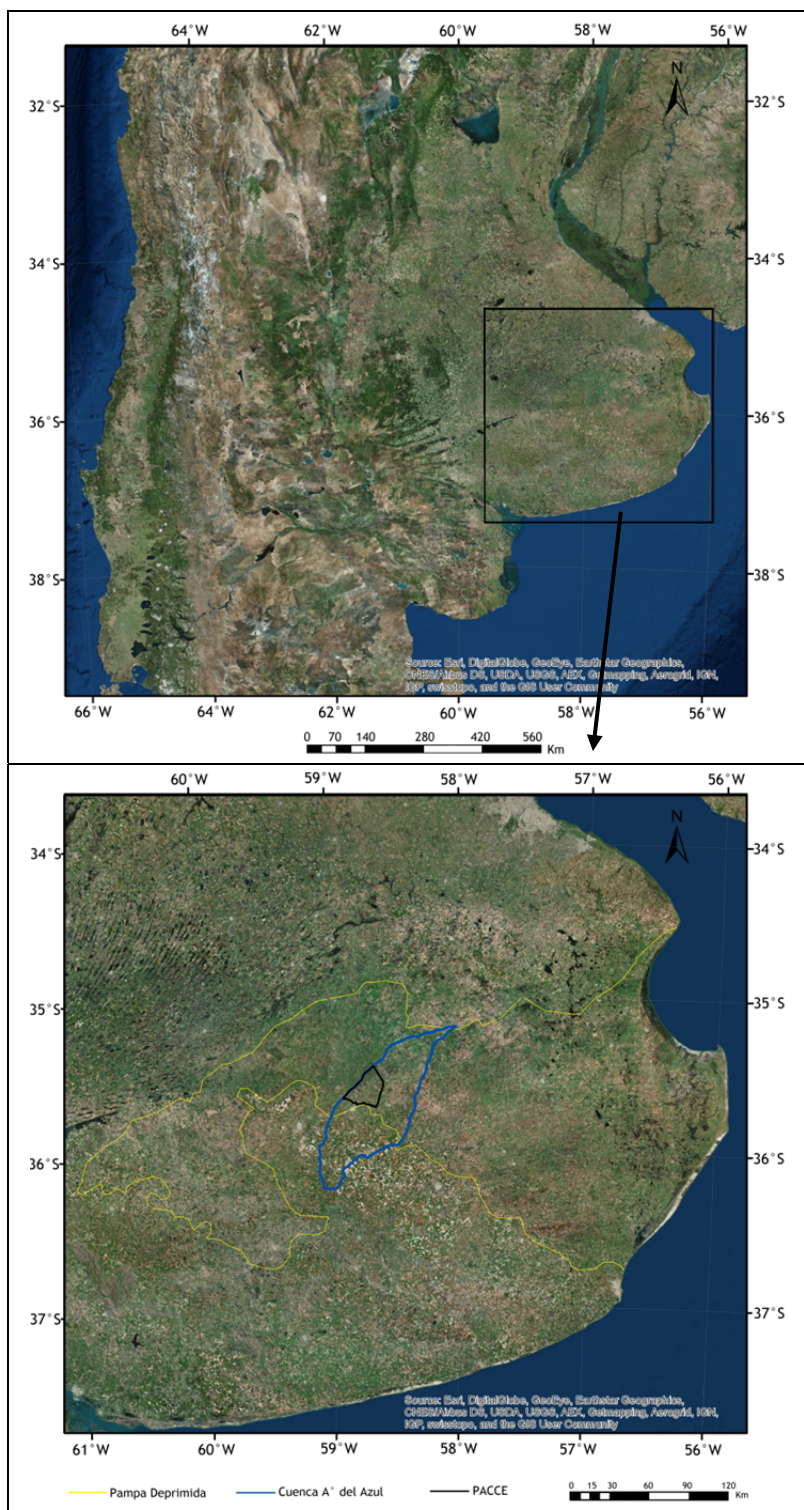


Figura N° 3. 1.: Ubicación del área de estudio.

Diversos autores analizaron los pastizales de la cuenca inferior del arroyo del Azul, desde diferentes aspectos: considerando su relación con la fisiografía (Valicenti *et al.*, 2000), su asociación con variables edáficas (Migueltoarena *et al.*, 2011 a), la heterogeneidad interna que presentan estos ambientes (Entraigas *et al.*, 2011, 2013; Migueltoarena *et al.*, 2011 b; Vercelli, 2011), entre otros. Por su parte Scaramuzzino *et al.* (2010) relevaron las especies de monocotiledóneas presentes en cuerpos de agua permanentes y temporales; Lara y Gandini (2011) aplicaron conceptos de la teoría de biogeografía de islas en parches dominados por pajonales de *Paspalum quadrifarium* Lam.; Vercelli *et al.* (2013 a) caracterizaron la flora con potencial medicinal en sitios alcalinos de la cuenca inferior; y Vercelli *et al.* (2013 b) sintetizaron la información disponible acerca de los pastizales llanos de la cuenca, considerando además de la flora algunos aspectos de la naturaleza de sus suelos y el uso al que están destinados estos ambientes.

En concordancia con la totalidad de la Pampa Deprimida, la actividad predominante en estos pastizales es la producción de ganado bovino, principalmente la cría: el clima templado y las precipitaciones regulares determinan que los pastizales alcancen niveles destacados de producción de forraje, suministrando alimentación de bajo costo, estable y con capacidad de recuperación aún después de severas contingencias climáticas. Recientemente, Lanceta *et al.* (2016) determinaron la superficie ganadera en los cuarteles del sector norte del partido de Azul y recalcularon la carga animal en los mismos, obteniendo valores entre 0,56 y 0,89 EV/ha para los cuarteles correspondientes al área de estudio seleccionada.

### 3.2. Selección y caracterización de Unidades de Análisis

Teniendo en cuenta que el área de estudio constituye una zona de llanura con pendientes muy sutiles, se adoptó como criterio el análisis en transectas, considerando que las conclusiones del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras (Fuschini Mejia, 1984) ya recomendaban el análisis a partir de la construcción de líneas imaginarias que homogeneicen los gradientes regionales. En este caso, las Unidades de Análisis se ubicaron sobre una transecta, perpendicular al eje principal de escurrimiento del agua, es decir, en dirección sudeste-noroeste. De esta manera, se linealizó el gradiente topográfico y de aguas, y se logró la independencia de las variaciones ocasionadas por la pendiente regional tanto en la altura como en la cantidad de agua potencialmente recibida por escurrimiento superficial.

Por otro lado, la selección de Unidades de Análisis se realizó teniendo en cuenta que los sitios elegidos incluyan la mayor cantidad de geformas posibles dentro de un mismo potrero con fisonomía homogénea, destinado a la cría extensiva de ganado vacuno sobre pastizales naturales (es decir, que no hayan sufrido modificaciones por la implantación

de cultivos agrícolas o pasturas). Además, se consideró la accesibilidad, por lo que se eligieron sitios próximos a rutas y caminos vecinales entoscados que garanticen el ingreso aún en épocas de excesos hídricos.

Para facilitar la aplicación de los criterios anteriores, se construyó la cartografía digital del área de estudio en escala 1:10.000, superponiendo mapas con las geoformas identificadas que exceden los límites de la PACCE (canales de drenaje, cubetas de deflación, y dunas longitudinales y parabólicas). Además, se incorporaron elementos antrópicos conspicuos tales como rutas nacionales y provinciales, vías férreas, caminos vecinales entoscados, montes, localidades y lotes agrícolas. Los mapas vectoriales se tomaron de Zárate *et al.* (2010) para las geoformas, y de Entraigas (2008) y Lanceta (2015) para los elementos antrópicos.

La elección final de los sitios a analizar se basó en la interpretación de la cartografía digital construida como se detalló anteriormente, la recorrida a campo por la zona y el acuerdo con los dueños de los establecimientos agropecuarios.

En cada una de las Unidades de Análisis seleccionadas se caracterizó la topografía y red de drenaje, los suelos, el agua freática y la vegetación. La metodología utilizada en cada caso se detalla a continuación.

### 3.2.1. Topografía

En el sector analizado no se aprecian variaciones destacables del relieve a escala de cuenca. Sin embargo, en áreas sumamente planas, los microrelieves (diferencias de altura relativa menores al metro) toman importancia al influir sobre los flujos materiales y energéticos. A pesar de la sutileza del relieve que caracteriza a toda el área de estudio y la define como llanura, las pequeñas diferencias en el microrelieve que se presentan entre sectores vecinos generan anegamientos temporales en épocas de excesos hídricos, promoviendo un sistema de drenaje de tipo endorreico o arreico. Dichos anegamientos puntuales se deben a diferencias en los aportes de agua superficial que recibe cada sitio movilizados por la pendiente local (Fuschini Mejía, 1994).

En cada Unidad de Análisis, en primer lugar, se midió la posición (coordenadas norte, este) y altura relativa sobre el nivel medio del mar en aproximadamente 100 puntos tomados al azar, incluyendo aquellos sitios donde posteriormente se ubicaron las unidades muestrales.

Para medir la posición y altura en cada sitio, se utilizaron dos equipos GNSS diferenciales (Promark 3), el primero de ellos configurado en modo de trabajo Stop & Go (mediciones de 30 segundos) y el otro en modo estático sobre un punto de amarre (punto físico del IGN: PF24n (51)B). El procesamiento de cada medición se realizó con el software GNSS donde se determinó la posición de cada punto medido. Dicho listado de coordenadas se exportó a un sistema de información geográfica (ArcGis), donde mediante la aplicación

del método de interpolación IDW fue posible obtener el modelo digital de elevación, el intervalo de elevación (alturas máximas y mínimas), la orientación y la pendiente, de cada Unidad de Análisis. Los mapas obtenidos se compararon con las geoformas previamente digitalizadas

Posteriormente, utilizando como base la topografía de cada Unidad de Análisis, se extrajo la red de drenaje de cada potrero, para lo cual se aplicaron las siguientes rutinas de hidro-procesamiento a los modelos de elevación digital ya construidos:

1. Determinación de la Dirección de Flujo: esta herramienta toma un modelo de elevación como entrada y proporciona un mapa raster que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda. La dirección de flujo está determinada por la dirección del descenso más empinado, o la caída máxima, desde cada celda. Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo.
2. Cálculo de la Acumulación de Flujo: esta rutina requiere como entrada un mapa de dirección de flujo y a partir del mismo calcula el flujo acumulado como número de celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente. Los píxeles con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado, mientras que aquellos con acumulación 0 representan alturas topográficas locales.

Como resultado, entonces, se obtuvo el mapa de acumulación de flujo para cada Unidad de Análisis, los cuales representan la cantidad de agua que cada pixel recibe por escurrimiento superficial de sectores vecinos.

### 3.2.2. Suelos

El análisis de las cartas de suelo 1:50.000 para el área de estudio y para toda la Pampa Deprimida (INTA, 1992) indican que la unidad cartográfica más utilizada en los mapas es el "complejo". Lo anterior es una clara evidencia de la variabilidad lateral en la composición de los suelos presente en el sector analizado (Imbellone *et al.*, 2010).

Se construyeron calicatas de 80 cm de lado y 1 m de profundidad en sitios representativos, para caracterizar los suelos de cada Unidad de Análisis. Los mismos se eligieron a partir del análisis de los modelos de elevación digital, los mapas de acumulación de flujo superficial, y las geoformas previamente reconocidas en cada Unidad de Análisis.

En cada perfil se describieron a campo propiedades morfológicas tales como textura, espesor, estructura, presencia de raíces y rasgos de hidromorfismo (aparición de barnices de arcilla y moteados de Mn), para la definición de horizontes. Además, se

incluyó la descripción litológica del material sedimentario no pedogenizado. Se tomaron muestras de cada horizonte para su análisis físico-químico en laboratorio.

En el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (UNLPam - CONICET) se realizaron las determinaciones de textura, pH, CE, carbono orgánico, carbono inorgánico y  $\text{CO}_3^{-2}$  (Tabla N° 3.1.)

Tabla N° 3. 1.: Determinaciones y técnicas utilizadas para el análisis de muestras tomadas de los diferentes horizontes identificados en cada perfil.

Determinación	Técnica	Equipo
Textura	Difracción laser	Mastersizer3000- Hydro 2000MU (A)
pH	Suspensión 1 : 2,5	Testeador Oakton
Conductividad Eléctrica	Suspensión 1 : 2,5	Testeador Oakton
Carbono Orgánico	% LOI 550°C	Horno-mufla SIMCIC HM-3
Carbono Inorgánico	% LOI 950°C	Horno-mufla SIMCIC HM-3
Carbonatos	% $\text{CO}_3^{-2}$	Calcímetro digital NETTO

De acuerdo entonces con la descripción morfológica y los datos analíticos, se caracterizaron los perfiles de suelos. Se incluyó también la descripción litológica del material sedimentario no pedogenizado. De esta manera, se obtuvo la caracterización integral del sustrato de cada Unidad de Análisis.

### 3.2.3. Agua freática

Teniendo en cuenta la heterogeneidad observada en los suelos y la vegetación en el área de estudio, se decidió caracterizar la variabilidad en las propiedades hidroquímicas e hidrodinámicas del agua freática subyacente a las Unidades de Análisis.

Para caracterizar el agua freática en el área de estudio, entonces, se construyeron piezómetros en cada Unidad de Análisis. Los mismos se ubicaron considerando los modelos de elevación digital, los mapas de acumulación de flujo superficial, y las geoformas previamente reconocidas.

Los piezómetros contruidos tienen 4 metros de profundidad aproximada, y están entubados en PVC de 1,5 pulgadas, abiertos en el fondo y ranurados en los 50 cm inferiores. Los mismos se utilizaron para el registro de niveles freáticos y la extracción de muestras para su posterior análisis químico.

El registro de niveles freáticos se realizó utilizando sondas freatimétricas, con frecuencia mensual, durante el período 09/2016 a 08/2017. En este sentido, cabe

aclarar que dicho procedimiento no pudo realizarse en todos los piezómetros de manera regular debido a la ocurrencia de precipitaciones que, en algunos casos, imposibilitaron el acceso. A partir de los datos mencionados, se analizaron las variaciones temporales registradas en los niveles freáticos y su relación con las lluvias del período, tomando los registros de la estación Azul del Servicio Meteorológico Nacional. Además, los niveles registrados se correlacionaron de a pares.

La extracción de muestras para el análisis hidroquímico se realizó durante los meses de septiembre de 2016 y febrero de 2017. Las fechas se eligieron considerando los registros históricos de la red de piezómetros que el Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Usunoff” posee en la cuenca del arroyo del Azul y alrededores. Los mismos muestran que los meses de septiembre y febrero son ejemplos claros de situaciones hidrológicas contrastantes, motivo por el cual se eligieron como fechas de muestreo.

En campo, se determinó el pH, la CE y la alcalinidad de las muestras, los dos primeros parámetros con una sonda multiparamétrica, y la alcalinidad en ppm de  $\text{CaCO}_3$  a partir de la cantidad de ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  consumidos. Posteriormente, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis Químicos del Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Usunoff”. Allí se determinó nuevamente el pH, la CE y la alcalinidad, además de cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio) y aniones mayoritarios (cloruro, nitrato, sulfato, carbonato, bicarbonato y fluoruro), siguiendo los métodos propuestos por APHA (2005) y EPA (2001) (Tabla N° 3.2.). Posteriormente, a partir de los datos de laboratorio, se representaron las muestras en diagramas de Stiff y se analizó la variabilidad espacial y temporal de las mismas.

Tabla N° 3. 2.: Determinaciones, métodos y equipos utilizados para el análisis hidroquímico de las muestras de aguas freáticas.

Determinación	Método	Equipo
Alcalinidad (ppm $\text{CaCO}_3$ )	SM 2320 B (APHA, 2005). Valoración Ácido-Base	pH / CE metro wtw
Conductividad Eléctrica	SM 2510 B (APHA, 2005)	pH / CE metro wtw
pH	Potenciometría	pH / CE metro wtw
Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Sodio (Na)	SM 3111 B (APHA, 2005). Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama	EAA SHIMADZU AA6800
Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )	SM 4500- $\text{Cl}^-$ B (APHA, 2005) Método Argentométrico	Bureta Digital Digirate Jecons
Fluoruro ( $\text{F}^-$ )	SM 4500- $\text{F}^-$ B (APHA, 2005) Método SPANDS	Espectrofotómetro UV-visible Thermo Aquamate
Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )	SM 4500- $\text{NO}_3^-$ B (APHA, 2005) Método Espectrométrico UV selectivo	Espectrofotómetro UV-visible Thermo Aquamate
Sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ )	Método 375.4 (EPA, 2001)	Espectrofotómetro UV-visible Thermo Aquamate

#### 3.2.4. Vegetación

La mayor parte de los pastizales del mundo presentan una marcada estacionalidad en la producción de biomasa neta aérea (Gibson, 2009). Específicamente, los pastizales típicos de la Pampa Deprimida presenta valores de Productividad Primaria Neta Aérea muy superiores en primavera-verano si se compara con los registro otoño-invernales (Marino, 2008), encontrándose la mayor parte de sus especies presentes y en estado reproductivo durante fines de primavera y principios del verano (Perelman *et al.*, 2003). Considerando lo anterior, el registro de datos se realizó durante los meses de diciembre de 2014 y 2015.

En primer lugar, para la caracterización general de las Unidades de Análisis, se realizó una descripción de la fisonomía, a partir de las especies más conspicuas y/o dominantes. Posteriormente, integrando los datos tomados a nivel de unidades muestrales durante fines de primavera (detalles metodológicos en el apartado 3.3.3.) se elaboraron las listas definitivas de especies presentes en el sector estudiado y en cada Unidad de Análisis en particular. A partir de las mismas, se extrajo: número total y proporción de especies pertenecientes a cada clase, familia, género, *status*, hábito y ciclo de vida.

### 3.3. Selección y caracterización de unidades muestrales

En cada una de las Unidades de Análisis, se dispusieron unidades de muestreo sobre dos transectas paralelas distanciadas 100 m entre sí. Dichas transectas tienen 700 m de longitud aproximada cada una, y orientación sudeste-noroeste por lo que son perpendiculares a la dirección general de escurrimiento del agua a nivel regional (Figura N° 3.2.).

Las unidades muestrales, entonces, se ubicaron en las transectas cada 50 m aproximadamente, considerando los cambios en la fisonomía de la vegetación para decidir los puntos exactos de muestreo. En las mismas, se consideraron nuevamente aspectos relativos a la topografía y la red de drenaje, los suelos y la vegetación.



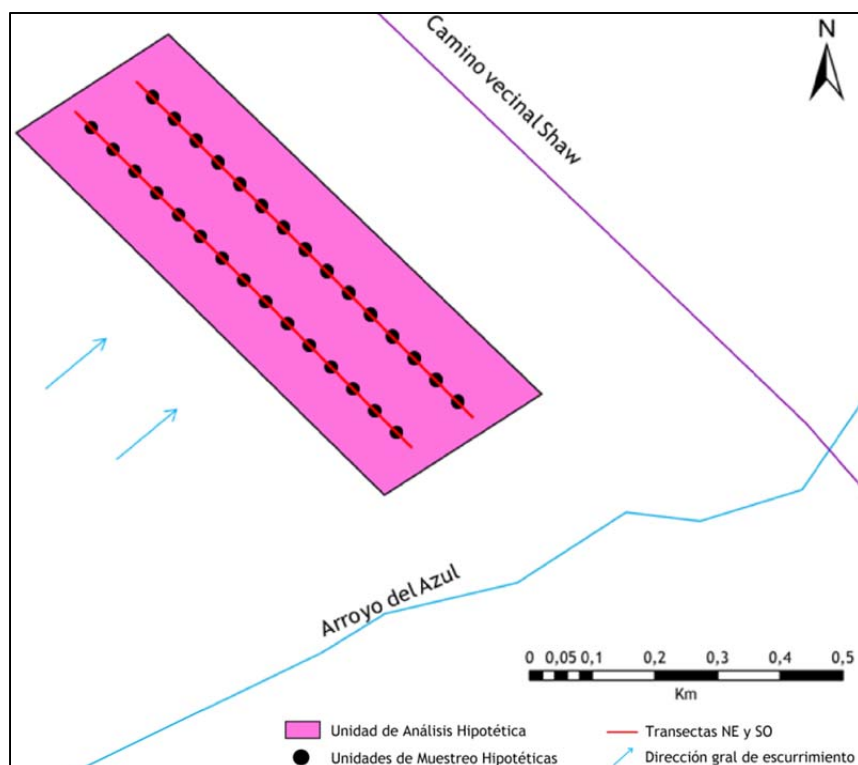


Figura N° 3. 2.: Representación esquemática de una unidad de análisis hipotética con sus unidades muestrales dispuestas sobre transectas paralelas.

### 3.3.1. Topografía

Se construyó el perfil topográfico para cada una de las transectas que forman las unidades muestrales. Para esto, se utilizaron las coordenadas y alturas registradas en campo. Además, se extrajeron las alturas máximas, mínimas y promedios para cada una.

Por otro lado, las coordenadas de las unidades muestrales se utilizaron para calcular las distancias pareadas entre las mismas y generar una matriz de distancias espaciales en metros para cada Unidad de Análisis.

Luego, a partir de los mapas de acumulación de flujo superficial ya contruidos, se extrajo el valor de acumulación correspondiente a cada unidad muestral. Para esto, se consideró el valor promedio de 9 píxeles: el correspondiente al pixel exacto del sitio de muestreo más los 8 píxeles que lo rodean. A los valores obtenidos se les aplicó una transformación logarítmica en base 10. De esta manera, se estimó la potencialidad de las unidades de muestreo de recibir agua por escurrimiento superficial en momentos de excesos hídricos.

Finalmente, se analizaron las variaciones espaciales de la altura y la acumulación de agua por flujo superficial, para el conjunto de unidades muestrales de cada Unidad de Análisis.

### 3.3.2. Suelos

En cada unidad muestral se extrajeron muestras de los primeros 20 cm de suelo utilizando un barreno manual; además, se registró el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal. Los procedimientos anteriores se llevaron a cabo en el mismo momento que se realizó la toma de datos a campo de vegetación.

Las muestras de suelo colectadas se dejaron secar al aire durante 15 días en sala de secado, y posteriormente se procedió a la tamización con malla de 2 mm de apertura. Finalizado este procedimiento, se utilizaron para la medición de pH y CE en suspensión suelo:agua 1:2,5 siguiendo la técnica propuesta por USDA-NRCS (2004). Ambas determinaciones (pH y CE) se realizaron en el Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Usunoff” utilizando un testeador multiparamétrico (Marca: Oakton - Modelo: PCSTestr 35).

Una vez obtenidos los datos, se analizaron las variaciones espaciales de pH, CE y porcentaje de suelo sin cobertura vegetal, para el conjunto de unidades muestrales de cada Unidad de Análisis.

### 3.3.3. Vegetación

Para llevar adelante el análisis de la vegetación, en primer lugar, se determinó el tamaño de las unidades muestrales aplicando el concepto de área mínima de la comunidad (Matteucci y Colma, 1982), realizando el cálculo en sitios representativos dentro de las Unidades de Análisis. El área mínima promedio en las repeticiones realizadas resultó de 4 m<sup>2</sup>, motivo por el cual finalmente se eligió ese tamaño para las unidades muestrales.

En cada unidad muestral se registró la totalidad de especies presentes y el porcentaje de cobertura de cada una dentro de la cuadrícula de muestreo. Se recolectaron ejemplares de cada especie para su posterior herborización y determinación en laboratorio (Figura N° 3.3.).



Figura N° 3. 3.: Análisis de la vegetación. A. Muestreo en transectas. B. Recolección de ejemplares botánicos

Los ejemplares botánicos recolectados se determinaron en el Laboratorio de Botánica Sistemática de la Facultad de Agronomía (UNCPBA), utilizando un microscopio estereoscópico (Olympus SZH10), la bibliografía tradicional (Cabrera, 1963-1970; Cabrera y Zardini, 1978; Burkart, 1969-2005; Correa, 1969-1999) y revisiones de géneros. Posteriormente, se depositaron en el Herbario de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (acrónimo FAA según Index Herbariorum - <http://sweetgum.nybg.org/ih/>).

La nomenclatura se actualizó de acuerdo con el Catálogo de Plantas Vasculares del Cono Sur (Zuloaga y Morrone, 1996; 1999; Zuloaga *et al.*, 2008). Con la información contenida en estas publicaciones se clasificaron las especies según su hábito, ciclo de vida y *status*. Posteriormente, se elaboraron las listas definitivas de especies presentes en el sector estudiado y, además, para cada unidad muestral y de análisis en particular.

Luego, para caracterizar ecológicamente el área de estudio, en primer lugar se construyó la matriz “unidades muestrales x especies” reuniendo los datos de todas las Unidades de Análisis, y considerando los porcentajes de cobertura registrados en campo.

A partir de la misma, por un lado, se calculó para cada unidad de muestreo la diversidad alfa, a partir de la ecuación general propuesta por Hill (1973), que tiene la siguiente expresión:

$$D_q = \left( \sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/1-q}$$

Donde:

$q$  = constante que puede ser asignada y altera las propiedades de las medidas de diversidad.

$S$  = número de especies en la unidad muestral.

$D_q$  = medida de diversidad basada en una constante  $q$ . Las unidades son “número de especies efectivas” o “número de equivalentes”.

$p_i$  = proporción de individuos pertenecientes a la especie  $i$ . Se calcula como la abundancia observada  $x_i$  (número, biomasa, cobertura, etc.), para la especie  $i$  en una unidad de muestreo, dividido la sumatoria de las abundancias de todas las especies presenten en la unidad de muestreo.

A medida que aumenta  $q$ , los índices le dan más peso a las especies dominantes, menos a las especies raras, y el tamaño de la muestra es menos importante. La magnitud de  $q$  determina si una medida de diversidad es sensible a las especies comunes o a las raras

(Keylock, 2005); valores más altos que 1 son desproporcionadamente sensibles a las especies más comunes, mientras que valores inferiores a 1 son muy sensibles a las especies raras. El punto crítico que pondera todas las especies por su frecuencia, sin favorecer ni a las raras ni a las comunes, ocurre cuando  $q = 1$ . Entonces:

- Cuando  $q = 0$ ,  $D_0 = \sum_i^S p_i^0$ . La expresión anterior es equivalente a la **riqueza específica**, la cual es calculada simplemente como el número de especies por unidad de muestreo.
- Si  $q = 1$ , entonces  $D_1$  es una ecuación indefinida porque el exponente es  $1/0$ . Sin embargo, su límite existe y es igual al exponencial del índice de Shannon-Wiener:

$$\text{Shannon – Wiener Index} = \ln(D_1) = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

El índice de Shannon-Wiener es una de las medidas de diversidad más difundidas, y expresa la incertidumbre en la identidad de las especies de una muestra (Jost, 2006), es decir, mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el  $\ln S$ , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

Los índices de diversidad comúnmente utilizados tienen una amplia gama de rangos de variación y comportamientos, motivo por el cual su comparación generalmente ocasiona resultados engañosos. Convertir estos índices a una medida de diversidad basada en un orden  $q$  y expresada en número de especies efectivas, provoca que tengan comportamiento y propiedades comunes, permitiendo su comparación. El número de equivalentes o número de especies efectivas de un índice de diversidad es el número de elementos de igual probabilidad necesarios para producir un valor dado de un índice de diversidad. Para  $q = 0$ , el índice no requirió transformación. Para  $q = 1$ , es decir, para el índice de Shannon-Wiener, el valor expresado en número de especies efectivas se calculó como el exponencial del valor de diversidad obtenido (Jost, 2006; 2007).

En segundo lugar, a partir de la misma matriz de “unidades muestrales x especies” se analizó la diversidad beta, particularmente considerando mediciones multivariadas y poniendo el interés en el análisis de la variación en la estructura de la comunidad. Las mediciones multivariadas están basadas en las semejanzas pareadas entre unidades de muestreo, ya sea mediante el cálculo de la similitud, la disimilitud o la distancia. Dichas mediciones comienzan con una matriz cuadrada que contiene todas las disimilitudes entre pares de unidades muestrales, calculadas mediante índices pareados (por ejemplo, Jaccard, Bray-Curtis, Sorensen, etc.) (Anderson *et al.*, 2011). Específicamente, la noción de variación se refiere a cambios en la estructura de la comunidad entre un conjunto de

unidades de muestreo al interior de una extensión espacial o temporal, o dada una categoría de un factor. En este caso, la variación es medida entre todos los pares posibles de unidades de muestreo, sin referencia a ningún gradiente o dirección, y tiene una correspondencia directa con la dispersión multivariada o varianza en la estructura de la comunidad (Legendre *et al.*, 2005; Anderson *et al.*, 2006).

Para llevar adelante el análisis de la variación o heterogeneidad de la vegetación, entonces, se identificaron los tipos principales de comunidades presentes en el área de estudio, para lo cual se realizaron análisis de conglomerados que permitieron identificar los grupos más compactos y aquellos sitios intermedios.

En primer lugar, se excluyeron de la matriz primaria (“unidades de muestreo” x “especies”) aquellas especies registradas en menos del 5 % de las unidades muestrales, lo cual es recomendado para reducir el volumen y el ruido en el conjunto de datos sin perder demasiada información durante el análisis multivariado de comunidades (Mc Cune & Grace, 2002).

En segundo lugar, se armó la matriz secundaria de similitud entre unidades muestrales, utilizando como medida el coeficiente de similitud de Jaccard, que divide las ocurrencias conjuntas sobre el total de las ocurrencias en los sitios *i* y *j*.

$$\text{coef. similitud de Jaccard} = S_j = \frac{a}{a + b + c}$$

Donde:

*a* = número de especies comunes entre los sitios *i* y *j*.

*b* = número de especies presentes en el sitio *i*.

*c* = número de especies presentes en el sitio *j*.

Con la matriz anterior se revisó la existencia de muestras atípicas o *outliers*, calculando la similitud promedio de cada caso con todos los demás y el desvío estándar de estos promedios. Las unidades muestrales que se alejan más de 2 desvíos estándar son consideradas *outliers*, y por lo tanto fueron excluidas de los análisis posteriores.

Partiendo de la matriz secundaria ya sin *outliers*, se construyó una clasificación jerárquica aplicando el algoritmo de fusión *Single Linkage*, conocido como el método del vecino más cercano. Aquí, la similitud entre dos grupos se define como la similitud entre los dos objetos más cercanos, uno en cada grupo. Para que dos conjuntos estén próximos, solo se requiere una pareja de puntos próximos, uno en cada uno. Este método produce largos encadenamientos y, a pesar de no ser útil para clasificar la totalidad de las unidades, sirve para seleccionar los grupos más fuertes y tiende a ser robusto frente a muestras atípicas (Timm, 2002). De esta manera se encontraron los

conjuntos principales y se identificaron las unidades muestrales que se encadenan en los últimos pasos de la clasificación.

Posteriormente, se construyó una nueva clasificación jerárquica excluyendo aquellas unidades muestrales identificadas en el paso anterior y consideradas intermedias, esta vez utilizando el método del promedio no ponderado (UPGMA) como algoritmo de fusión. En el mismo, la similitud entre una unidad  $k$  y el nuevo grupo formado por la unión de las unidades  $i$  y  $j$ , es igual a la media aritmética de las similitudes entre las unidades  $i$  y  $k$ , y las unidades  $j$  y  $k$  (Wildi, 2010). Los grupos formados con esta última clasificación se compararon con las grandes unidades de vegetación descritas por Perelman *et al.*, (2001) para la totalidad de la Pampa Deprimida y de esta manera se eligió el número óptimo de grupos a considerar.

Los grupos formados fueron sometidos a un Análisis de Especies Indicadoras (IndVal): este análisis, propuesto originalmente por Dufrene & Legendre (1997) y luego modificado por De Cáceres & Legendre (2009), De Cáceres *et al.*, (2010) y De Cáceres *et al.*, (2012), combina información sobre la abundancia relativa de cada especie con su frecuencia relativa de ocurrencia en los diferentes grupos de sitios. Puede ser utilizado para contrastar la performance individual de las especies a través de dos o más grupos de censos, analizando los cambios en los *p-values* de las pruebas de aleatorización (test de Monte Carlo) y en el número de especies con valores indicadores significativos, a través de los distintos niveles del dendrograma (McCune & Grace, 2002).

Utilizando datos de presencia-ausencia, para cada especie  $i$  en el grupo  $j$ , se computa el producto de la Abundancia Relativa ( $RA_{ij}$ ) por la Frecuencia Relativa ( $RF_{ij}$ ), de la siguiente manera:

$$RA_{ij} = N_{sitios_{ij}} / N_{sitios_i}$$

$$RF_{ij} = N_{sitios_{ij}} / N_{sitios_j}$$

$$IndVal_{ij} = RA_{ij} * RF_{ij} * 100$$

Donde:

$IndVal_{ij}$  = valor indicador de la especie  $i$  en el grupo  $j$ .

$RA_{ij}$  = Relación entre el número de presencias de la especie  $i$  en un grupo  $j$  y el número total de presencia de la especie  $i$ .

$RF_{ij}$  = Frecuencia Relativa de ocurrencia de la especie  $i$  en los sitios del grupo  $j$ .

$N_{sitios_{ij}}$  = número de sitios en el grupo  $j$  donde aparece la especie  $i$ .

$N_{sitios_i}$  = número total de sitios donde aparece la especie  $i$ .

$N_{sitios_j}$  = número total de sitios en el grupo  $j$ .



$RA_{ij}$  es máximo cuando la especie  $i$  ocupa todos los sitios del grupo  $j$  y no está presente en los demás.  $RF_{ij}$  es máximo cuando la especie  $i$  está presente en todos los sitios del grupo  $j$ . Los valores de  $RA_{ij}$  y  $RF_{ij}$  son combinados multiplicativamente porque representan información independiente sobre la distribución de las especies. Finalmente se multiplica por 100 para expresar el resultado como porcentaje. De esta manera, cada una de las especies evaluadas presenta un valor indicador para cada grupo de sitios contrastado.

Recientemente, De Cáceres *et al.* (2012) exploraron el método IndVal para combinaciones de especies, en lugar de solo evaluarlas individualmente, considerando que dos o más especies cuando son encontradas juntas, conllevan mayor información ecológica que las individuales. Teniendo en cuenta lo anterior, además de obtener el valor indicador para cada especie, se generaron combinaciones de hasta 3 especies y se calcularon sus valores indicadores en los diferentes grupos.

Teniendo en cuenta el elevado número de especies registradas durante los muestreos de vegetación se decidió, para llevar adelante el método IndVal, seleccionar las especies candidatas a ser indicadoras para cada grupo. Así, se consideraron solo aquellas con frecuencia relativa mayor a 0,5 y de esta manera, se excluyeron *a priori* las especies que presentarán valores bajos de IndVal, debido a su baja frecuencia relativa.

Posteriormente, a partir de las especies seleccionadas como candidatas, se generaron las combinaciones de hasta 3 especies, y se evaluó su performance en los diferentes grupos. Debido a que algunas especies presentan valores de frecuencias relativas mayores a 0,5 en más de un grupo (es decir, fueron seleccionadas como candidatas), la evaluación de todas las combinaciones posibles para cada grupo tendría como consecuencia la repetición de algunas de éstas en dos o más grupos. Para evitar esto, solo se evaluaron aquellas especies o combinaciones que tuvieran valores de frecuencias y abundancias relativas mayores a 0,5 y valores de IndVal mayores a 50 %.

Finalmente, una vez obtenidas las especies y combinaciones con valores de IndVal superiores a 50 % y estadísticamente significativos, se calculó la sumatoria de los IndVal para cada grupo evaluado (IndVal Acumulado). Sobre dicha sumatoria, es decir, a partir del valor de IndVal acumulado para cada grupo, se calculó el porcentaje presente de cada grupo en cada unidad muestral (sumatoria de los IndVal obtenidos para cada grupo en cada unidad de muestreo dividido el total de IndVal posible para grupo, y multiplicado por 100). De esta manera, se obtuvo para cada unidad de muestreo un valor de IndVal en cada grupo evaluado, expresado como porcentaje del total posible.

Así, tanto las unidades muestrales asignadas a un grupo de vegetación como aquellas consideradas intermedias, fueron evaluadas de acuerdo con la proporción de especies y combinaciones allí encontradas con IndVal significativo para cada grupo analizado. Para esto, se buscaron las especies candidatas para los diferentes grupos en cada uno de los sitios, se identificaron las combinaciones indicadoras, se sumaron los IndVal para cada



grupo y se expresaron como porcentaje del total posible. Los análisis mencionados se llevaron adelante utilizando el software R (R Core Team, 2016), paquete “indicspecies” versión 1.7.1 (De Cáceres & Jansen, 2015), específicamente las funciones “indicators” y “strassoc”.

#### 3.3.4. Ubicación de unidades muestrales en el espacio florístico, geográfico y ambiental.

El análisis de la diversidad *beta* en esta investigación se realizó a partir de mediciones multivariadas, prestando especial atención al análisis de la variación en la estructura de la comunidad. Las mediciones multivariadas incluyen también el análisis del reemplazo de especies, donde la idea esencial es medir el cambio en la estructura de la comunidad desde una unidad de muestreo a la otra a lo largo de gradientes espaciales, temporales o ambientales (entendiendo por cambios en la estructura variaciones de identidad, abundancia relativa, biomasa y/o cobertura de las especies individuales) (Anderson *et al.*, 2011). El reemplazo, por su naturaleza, requiere que el investigador defina a priori el gradiente de interés y su direccionalidad.

Específicamente en este proyecto el interés está centrado en el reemplazo de especies sobre gradientes geográficos y ambientales, por lo cual requiere el análisis conjunto de datos geomorfológicos, espaciales y ecológicos. Para analizar el reemplazo de especies vegetales se construyó, a partir de los datos recabados, el espacio florístico, el espacio geográfico y el espacio ambiental donde se ubican todas las unidades muestrales. Se interpretó la ubicación de las muestras en dichos espacios y finalmente se compararon las matrices de distancias utilizadas para generarlos mediante la aplicación del test de Mantel. A continuación se detalla cómo se construyeron los espacios florístico, geográfico y ambiental:

- Espacio Florístico

El espacio florístico se construyó a partir de la representación de las unidades muestrales en un Escalamiento Multidimensional No Métrico (NM-MDS). Para esto, en primer lugar, se obtuvo una matriz de distancias con la inversa de la similitud entre muestras calculada con el índice de Jaccard (detalles en el apartado 3.3.3.).

Con dicha matriz, se realizó un NM-MDS: esta técnica de ordenamiento se aplica sobre matrices de distancia entre unidades muestrales ( $n \times n$ ) y consiste en una búsqueda iterativa de las mejores posiciones para las  $n$  entidades en un espacio de  $k$  dimensiones, que minimice el estrés de la configuración  $k$ -dimensional (McCune & Grace, 2002). El “estrés” es una medida de la monotonicidad en la relación entre las distancias en el espacio original de  $p$  dimensiones y las distancias en el espacio reducido de  $k$

dimensiones (que en general son dos). El NM-MDS es la técnica de ordenamiento generalmente más efectiva para datos de comunidades ecológicas ya que presenta las siguientes ventajas: (1) no asume relaciones lineales entre variables; (2) al utilizar distancias ranqueadas tiende a linealizar la relación entre las distancias medidas en el espacio de las especies y las distancias en el espacio ambiental, lo cual alivia el problema de la gran cantidad de ceros en las matrices de datos ecológicos heterogéneos (Beals, 1984); y (3) permite el uso de cualquier medida de distancia.

La matriz de distancias florísticas, entonces, se construyó extrayendo las coordenadas estandarizadas de los sitios de muestreo en las dos primeras dimensiones del NM-MDS y calculando las distancias euclídeas entre pares de sitios a partir de dichas coordenadas.

- Espacio Geográfico

El espacio geográfico se obtuvo a partir de la representación de las unidades de muestreo con sus coordenadas X e Y. Específicamente, las distancias geográficas se calcularon para pares de puntos pertenecientes a la misma Unidad de Análisis para evitar que entre puntos de muestreo haya distancias que superen al kilómetro.

De esta manera, se representaron los sitios analizados de acuerdo con su distancia en el terreno, y se obtuvo una matriz de distancia geográfica para cada Unidad de Análisis. Posteriormente esta matriz se comparó con las matrices florísticas y ambientales también para las unidades de muestreo pertenecientes a la misma Unidad de Análisis.

- Espacio Ambiental

Teniendo en cuenta las variables medidas en cada unidad muestral, se sintetizó la información obtenida respecto a la topografía y al suelo con un Análisis de Componentes Principales (ACP), y a partir del mismo construir el espacio ambiental donde se ubican los sitios analizados.

El ACP tiene como objetivo la reducción de la dimensionalidad del conjunto de datos: dadas  $n$  observaciones de  $p$  variables, se analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales (llamadas ejes o componentes principales). De esta manera, se pasa de un conjunto de  $n$  casos en un espacio de  $p$  dimensiones, a un conjunto de  $n$  casos en un espacio reducido de  $k$  dimensiones, donde  $k$  es típicamente mucho menor que  $p$  (McCune & Grace, 2002). Esta técnica permite representar de forma óptima las observaciones en un espacio de dimensión pequeña y, además, transforma las variables originales, generalmente correlacionadas, en nuevas variables independientes que suelen facilitar la interpretación de los datos (Peña, 2002).

El ACP, entonces, se realizó utilizando la matriz de correlación entre las siguientes variables medidas en la totalidad de las unidades muestrales: pH de suelo en suspensión 1:2,5 (pH); conductividad eléctrica del suelo en suspensión 1:2,5 (CE); porcentaje de la unidad muestral sin cobertura vegetal (% SD); altura topográfica (Z); y acumulación de agua por flujo superficial (FlowAcc). Del análisis se extrajeron los ejes o componentes principales, es decir, aquellos que explican mayor porcentaje de la varianza, y se calculó la correlación de los mismos con las variables originales, para favorecer su interpretación. Finalmente, se obtuvieron las coordenadas para cada unidad muestral en los mencionados componentes principales y se graficó su ubicación en el plano cartesiano.

La matriz de distancias ambientales entre unidades de muestreo, entonces, se construyó calculando la distancia euclídea entre todos los pares de unidades muestrales posibles, utilizando las coordenadas estandarizadas para cada sitio en los dos primeros ejes del ordenamiento.

La comparación de las matrices de distancias pareadas entre unidades muestrales construidas a partir de datos florísticos, geográficos y ambientales se realizó mediante la aplicación del Test de Mantel. Esta técnica se utiliza para poner a prueba la hipótesis nula de independencia entre dos matrices cuadradas simétricas de iguales dimensiones, ya que calcula la significancia de la correlación evaluando los resultados de repetidas aleatorizaciones (McCune & Grace, 2002). Debido a que las celdas en una matriz de distancia no son independientes entre sí, no es posible aplicar las técnicas tradicionales (por ej. correlación de Pearson), ya que asumen independencia en las observaciones. El test de Mantel es una alternativa a realizar una regresión entre ambas matrices, eludiendo el problema de la interdependencia entre las observaciones al interior de cada matriz. Las matrices a comparar son calculadas para conjuntos diferentes de variables, pero medidas en las mismas unidades de muestreo.

Para aplicar el test de Mantel, se permuta simultáneamente el orden de filas y columnas de una de las matrices (sin importar cuál), siempre manteniendo los elementos de la diagonal, y cambiando aleatoriamente la posición de todos los demás. Luego de cada permutación, se calcula el estadístico Z y los resultados obtenidos proveen de una distribución empírica que es utilizada para el test de significancia. El valor de Z para los datos no aleatorizados se compara con la distribución de Z para las matrices permutadas. Si el resultado de la aleatorización frecuentemente indica correlaciones entre matrices tan fuertes como la correlación con los datos originales, entonces la significancia de la correlación va a diferir poco de cero. Por el contrario, una fuerte correlación entre la estructura de las matrices originales raramente será preservada luego de ejecutadas las aleatorizaciones (McCune & Grace, 2002).

Cabe destacar que, tanto las matrices de distancias florísticas como las ambientales, comparan de a pares todas unidades de muestreo analizadas en este trabajo. Por el contrario, las matrices geográficas fueron comparadas con las florísticas y ambientales para cada Unidad de Análisis individualmente. Todos los análisis estadísticos, incluyendo el ACP, el NM-MDS, y el test de Mantel se realizaron con el software R (R Core Team, 2016 a), paquetes “stats” (versión 3.3.0; R Core Team, 2016 b), “labdsv” (versión: 1.8-0; Roberts, 2016) y “ade4” (versión: 1.7-4; Dray *et al.*, 2016), respectivamente.

### **3.4. Caracterización de elementos del paisaje y zonas de tensión.**

Una vez caracterizadas las Unidades de Análisis y las unidades muestrales, se procedió a caracterizar integralmente el paisaje en el sector bajo estudio, a partir del análisis de sus elementos constituyentes y las zonas de tensión o transición entre ellos.

Para esto, en primer lugar, se analizaron los elementos propiamente dichos: las dunas longitudinales y parabólicas, y los canales de drenaje, que presentan formas alargadas como corredores; las cubetas de deflación, cuyos límites contrastantes permiten reconocerlas como parches; y la Planicie de Agradación con Costra Calcárea Estratiforme (PACCE), que actúa como la matriz del paisaje geomorfológico.

Cada uno de los elementos mencionados se caracterizó a partir de la información aportada por las unidades muestrales que se ubiquen dentro de sus límites, específicamente de la disposición de las mismas en el espacio geográfico, ambiental y florístico. La localización de cada elemento del paisaje en los diferentes espacios construidos se realizó considerando los resultados obtenidos en el apartado 4.3.4.

Además, se analizaron los resultados obtenidos a nivel de Unidad de Análisis para cada elemento del paisaje en cuanto a su relieve, particularidades de los perfiles de suelos que allí se describieron, función en la red de drenaje y características del agua freática subyacente.

Posteriormente, se caracterizaron las zonas de tensión o transición entre los elementos del paisaje definidos anteriormente, ubicando las mencionadas unidades en los espacios geográfico, ambiental y florístico construidos. Por otro lado, se calculó la sumatoria de combinaciones significativas (expresadas como porcentaje del Valor Indicador Total) para cada grupo de vegetación identificado como se detalló en el apartado 3.3.4. para analizar la representatividad de cada tipo de comunidad en los sitios analizados.

## Capítulo N° 4: RESULTADOS

### 4.1. Generalidades del área de estudio

A partir de la información recabada, se determinó que el área de estudio seleccionada tiene una superficie total de 515,97 km<sup>2</sup>, en su gran mayoría ocupada por pastizales naturales con grados variables de intervención humana por uso ganadero. Cruzan el sector 29,18 km de rutas asfaltadas (Ruta Nacional 3 y Ruta Provincial 51), 28,13 km de vías férreas (Ferrocarril General Roca) y 94,99 km de caminos secundarios entoscados, además de presentar 12,59 km<sup>2</sup> de lotes destinados a cultivos agrícolas y 1,58 km<sup>2</sup> de montes. Por su parte, los cursos de agua presentan una longitud total de 97,57 km, las dunas longitudinales y parabólicas se extienden por 78,12 km, y los cuerpos de agua ocupan 8,12 km. A continuación se presenta el mapa obtenido a partir de la superposición de las geoformas y los elementos antrópicos identificados en el área de estudio (Figura N° 4.1.).

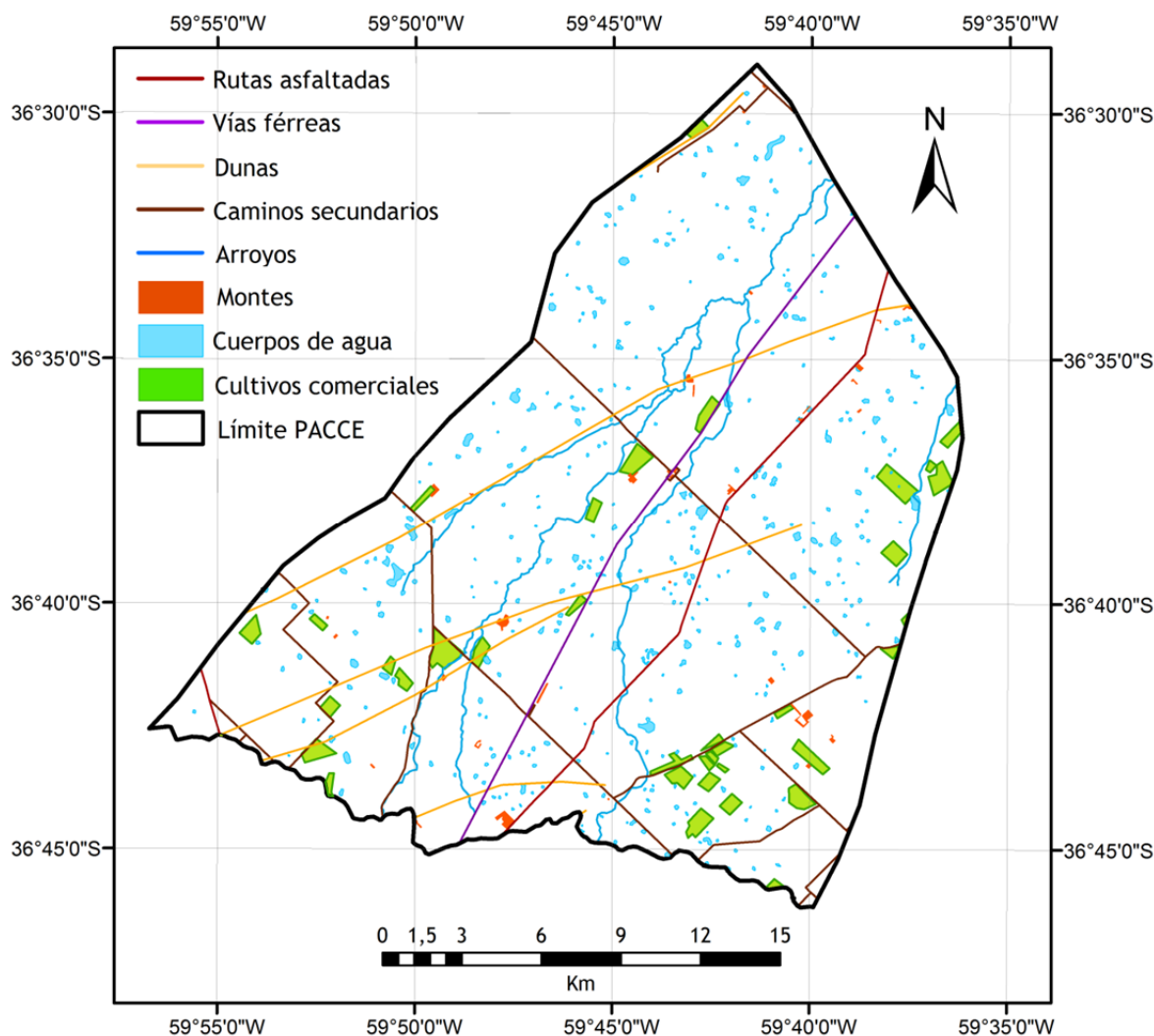


Figura N° 4. 1: Geoformas y principales elementos antrópicos identificados en el área de estudio.

Utilizando el mapa anterior y aplicando los criterios mencionados en la descripción metodológica, se seleccionan 3 Unidades de Análisis (Figura N° 4.2.), todas ellas dispuestas en forma paralela y ubicadas al sudoeste del camino secundario que comunica la localidad de Shaw con la Ruta Nacional 3.

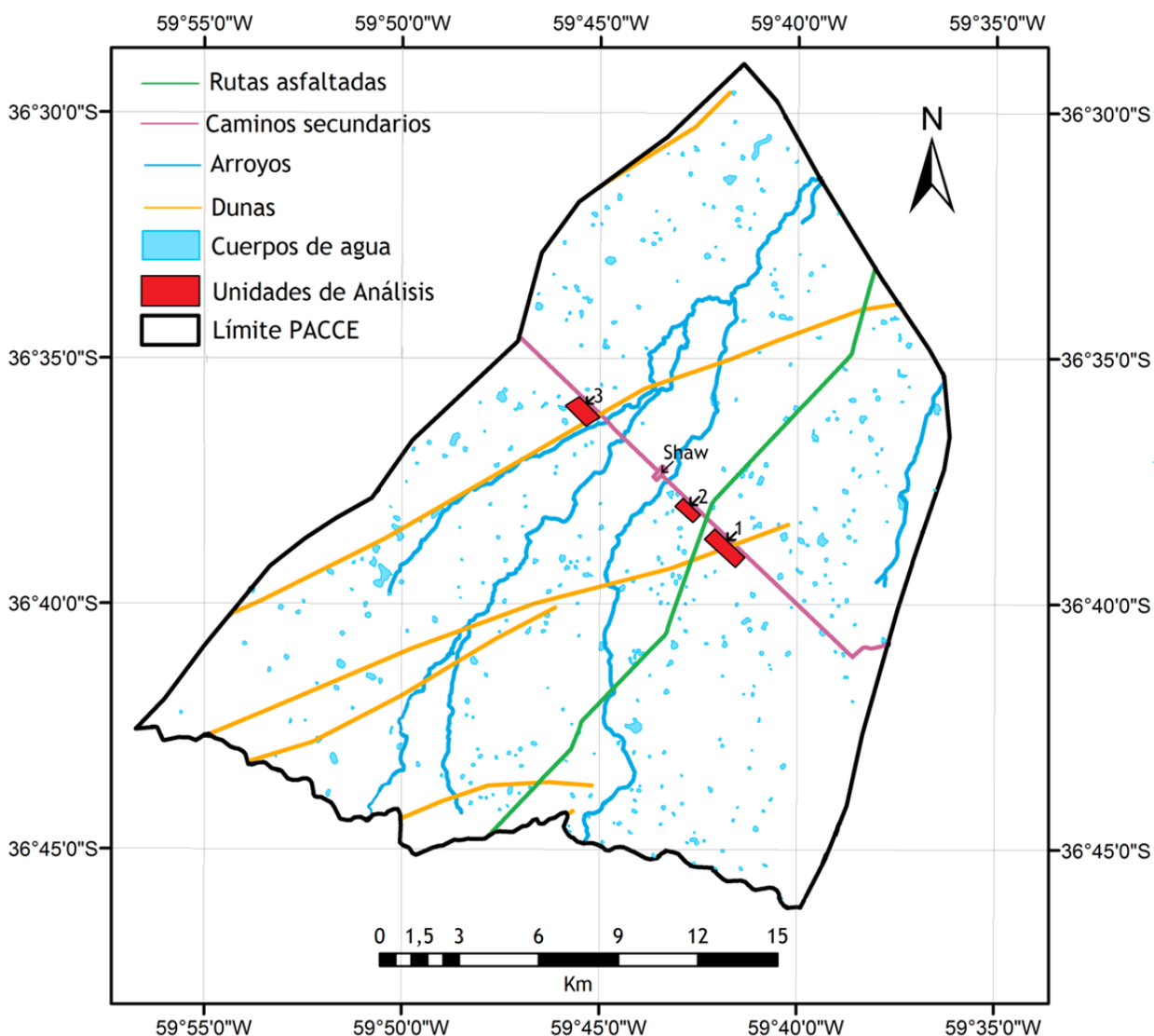


Figura N° 4. 2.: Ubicación de las Unidades de Análisis seleccionadas

## 4.2. Caracterización de Unidades de Análisis

A continuación se describen brevemente las Unidades de Análisis seleccionadas, considerando su ubicación, fisonomía, geoformas presentes y uso antrópico:

- **Unidad de Análisis 1:** Potrero ubicado en un establecimiento agropecuario de 800 ha ( $36^{\circ} 38' 45''$  sur -  $59^{\circ} 41' 58''$  oeste) dedicado exclusivamente a la cría extensiva de ganado vacuno. Fisonómicamente, presenta un pastizal dominado por paja colorada (*Paspalum quadrifarium* Lam.), siendo más abundante esta especie en el sector NNO del potrero. Se reconocen dos geoformas dentro del mismo: una cubeta de deflación, que constituye un cuerpo de agua temporario de pequeña extensión, y parte de una duna parabólica, además de la PACCE.

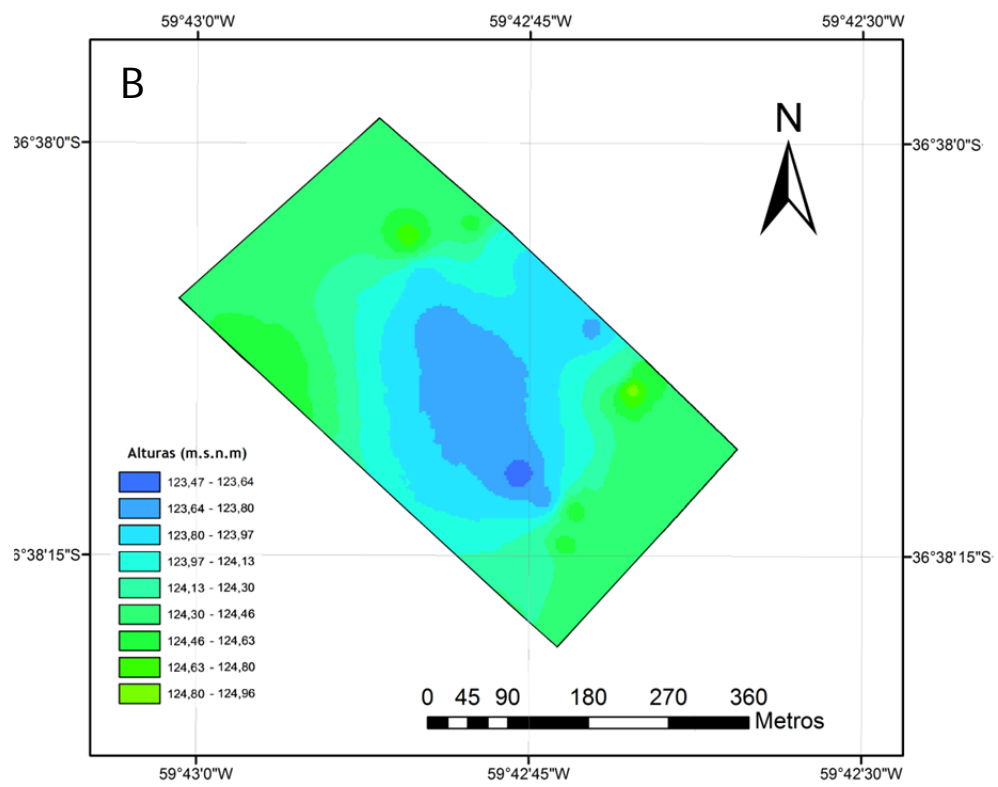
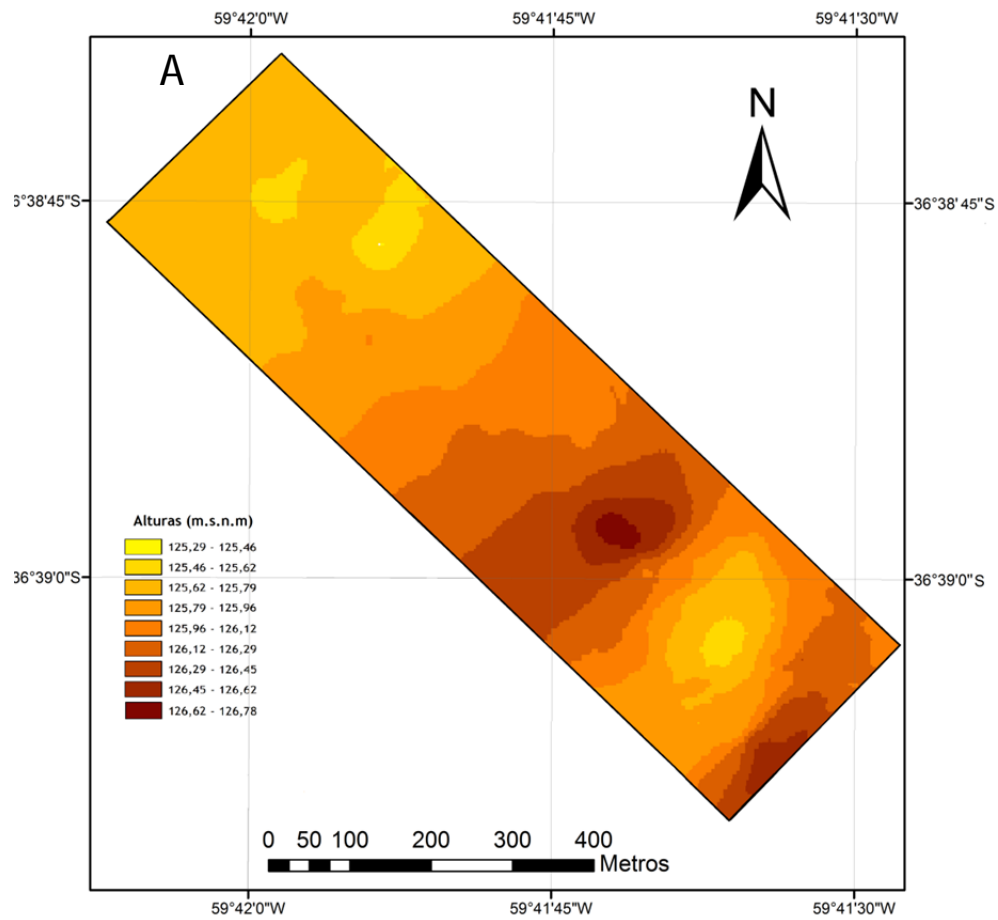
- **Unidad de Análisis 2:** Potrero situado en un establecimiento agropecuario de 100 ha ( $36^{\circ} 38' 09''$  sur -  $59^{\circ} 42' 49''$  oeste) dedicado exclusivamente a la ganadería. En el mismo, se identifica una cubeta de deflación y su duna asociada ubicada en el margen oriental. Esta geoforma ocupa la mayor parte del lote, y constituye un cuerpo de agua temporario de gran extensión dominado por vegetación palustre (duraznillar de *Solanum glaucophyllum* Desf. y juncal de *Schoenoplectus californicus* var. *californicus* en sentido de Vervoorst, 1967), mientras que el resto del potrero alberga un pastizal natural donde se destaca la presencia de *P. quadrifarium*.

- **Unidad de Análisis 3:** potrero ubicado en un establecimiento agropecuario de 3200 ha ( $36^{\circ} 35' 57''$  sur -  $59^{\circ} 45' 36''$  oeste) que tiene como actividad principal la ganadería, aunque también destina una porción de tierras a la implantación de cultivos comerciales (246 ha). En dicho potrero se reconoce parte de una duna parabólica, además de la PACCE. Los pastizales localizados sobre la planicie presentan una fisonomía aparentemente homogénea, predominando especies rastreras, arrosetadas o de escasa altura, entre las que sobresalen gramíneas erectas. Dichos pastizales se destinan a la cría extensiva de bovinos, mientras que la duna se utiliza para el cultivo de maíz, soja o cebada.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de las Unidades de Análisis respecto al suelo, el relieve, el agua freática y la vegetación que presentan.

#### 4.2.1. Topografía

A partir de los datos tomados a campo se calculó la superficie exacta de las Unidades de Análisis: las Unidades 1, 2 y 3 tienen 31,58, 17,38 y 23,70 ha respectivamente. A continuación se presentan los modelos de elevación digital para cada una de ellas (Figura N° 4.3.):





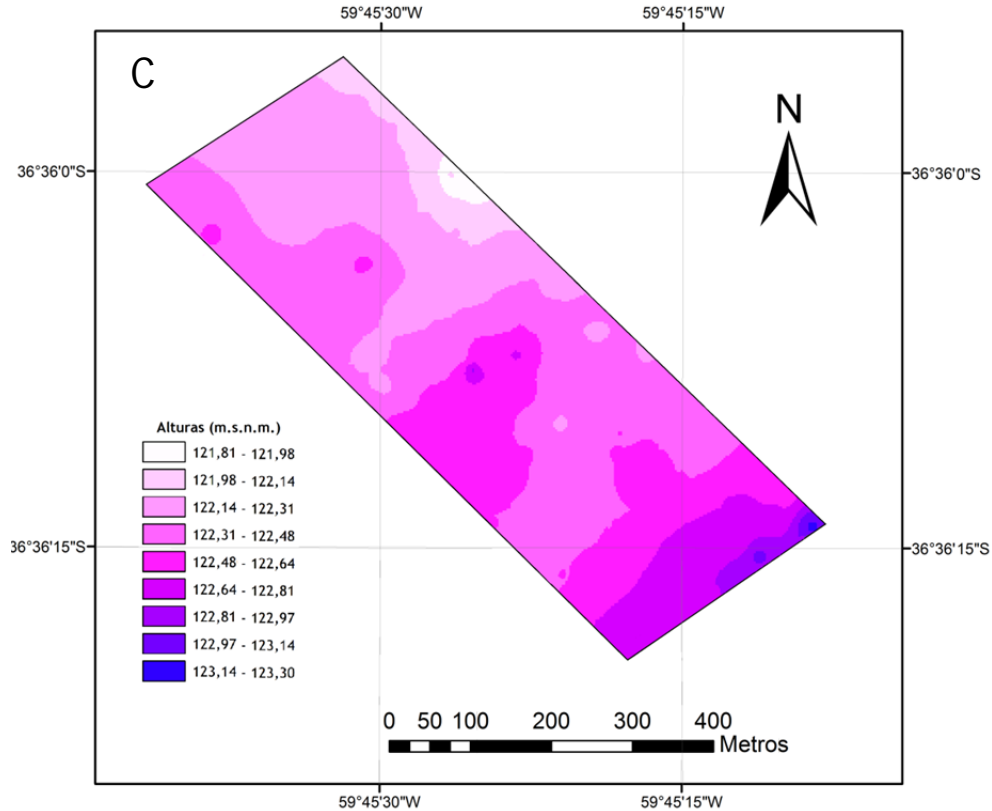
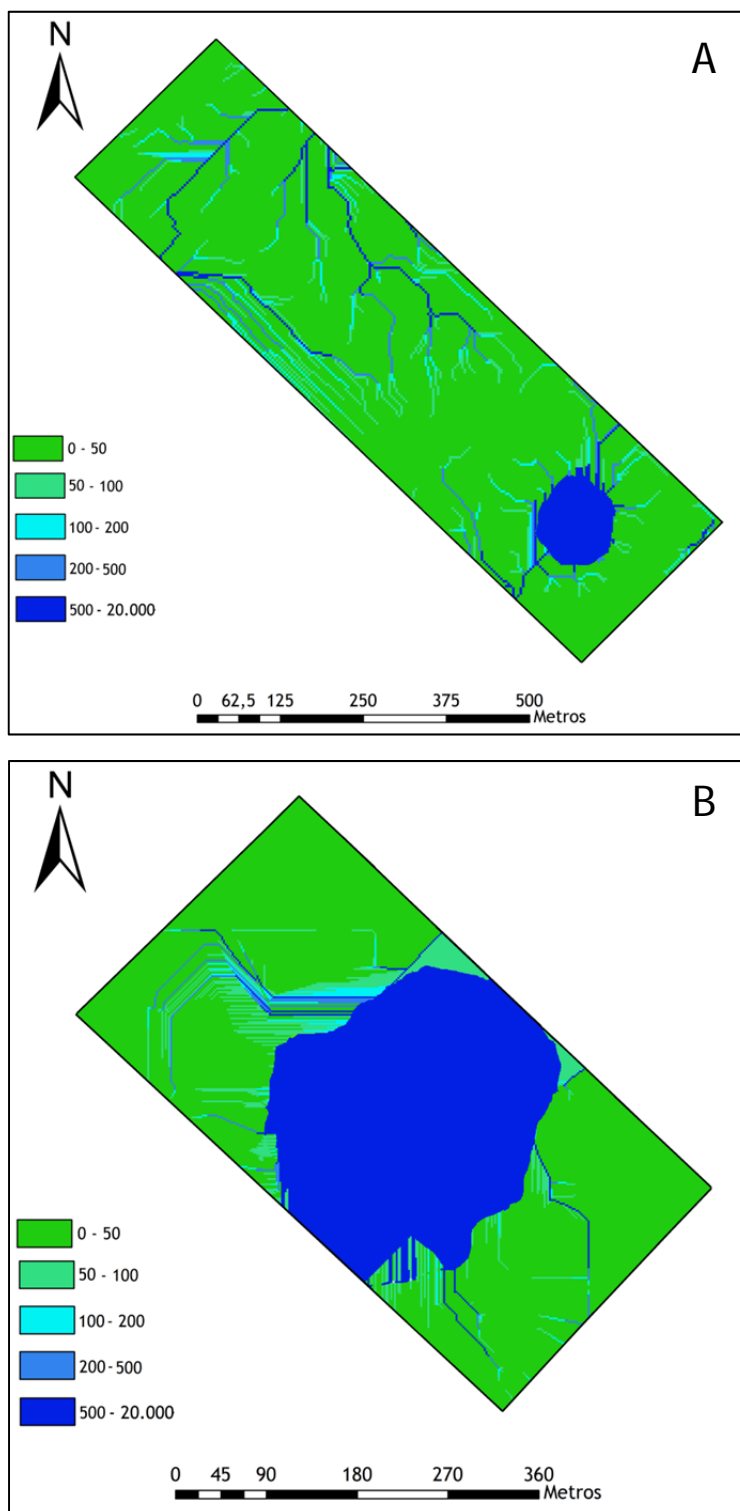


Figura N° 4. 3.: Modelos de Elevación Digital para A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3.

Se observa que las cotas descienden progresivamente con dirección sudeste-noroeste desde la Unidad de Análisis 1 hacia la 3 existiendo, entre los puntos registrados, diferencias máximas de 5 m aproximadamente. Al interior de cada unidad, las diferencias no superan los 1,5 m. Los modelos de elevación de cada unidad de análisis manifiestan las geoformas mapeadas previamente: en la Unidad 1 queda representada la cubeta de deflación y el brazo de la duna parabólica observándose que esta última se encuentra disectada, es decir, no tiene expresión morfológica continua. En la Unidad 2, puede observarse que la cubeta de deflación ocupa gran parte de la unidad, y que la duna asociada ubicada hacia el este (duna de deflación) no tiene expresión morfológica continua. Finalmente, en la Unidad 3, el modelo de elevación pone de manifiesto las diferencias en la microtopografía presentes al interior de la PACCE. A diferencia de lo que ocurre en las dos unidades de análisis anteriores, aquí se evidencia la pendiente general del terreno hacia el noreste.

Posteriormente, a partir de la aplicación de rutinas de hidro-procesamiento sobre los modelos digitales de elevación presentados anteriormente, se determinó para cada Unidad la acumulación de agua por escurrimiento superficial que potencialmente

reciben los pixeles desde sectores vecinos. De forma general, en las tres Unidades es posible observar la desorganización de la red de drenaje, a pesar de expresarse la dirección general de escurrimiento coincidente con la regional (Figura N° 4.4.).



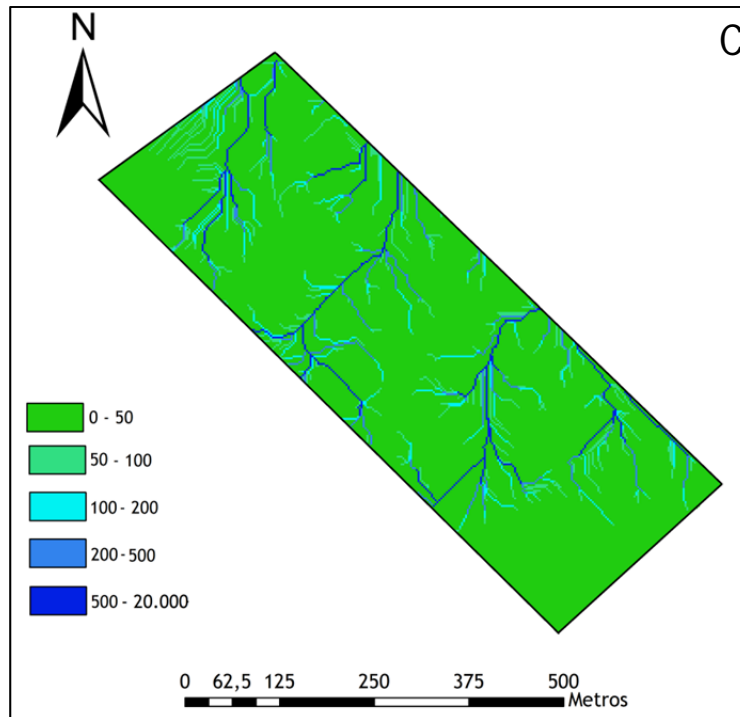


Figura N° 4. 4.: Acumulación de flujo superficial expresado como n° de píxeles que drenan a cada píxel para A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3.

Particularmente, en la Unidad de Análisis 1 el mapa de acumulación muestra como el brazo de la duna parabólica actúa como una divisoria de aguas local, mientras que el agua se concentra en depresiones como la cubeta de deflación; en la PACCE se evidencia la existencia de vías preferenciales de escurrimiento con dirección general sudoeste-noreste, además de un pequeño bajo circular ubicado en el cuadrante noroeste de la Unidad. Por su parte, en la Unidad 2 el gran tamaño de la cubeta de deflación ocasiona que el agua drene preferencialmente hacia ella. En la Unidad de Análisis 3, nuevamente el brazo de la duna actúa como una divisoria de aguas y, se observa la concentración de agua superficial en microcanales de drenaje excavados en la PACCE. Estos últimos no tienen la suficiente expresión morfológica y continuidad espacial motivo por el cual frecuentemente no se incluyen entre las vías de escurrimiento de la red hidrográfica de la cuenca del arroyo del Azul.

#### 4.2.2. Suelos

Dentro del área de estudio se excavaron 9 calicatas según el detalle que se indica a continuación (Figura N° 4.5.). Se realizó la descripción y se efectuaron determinaciones analíticas de parámetros físico-químicos (Tablas N° 4.1. a 4.9.).

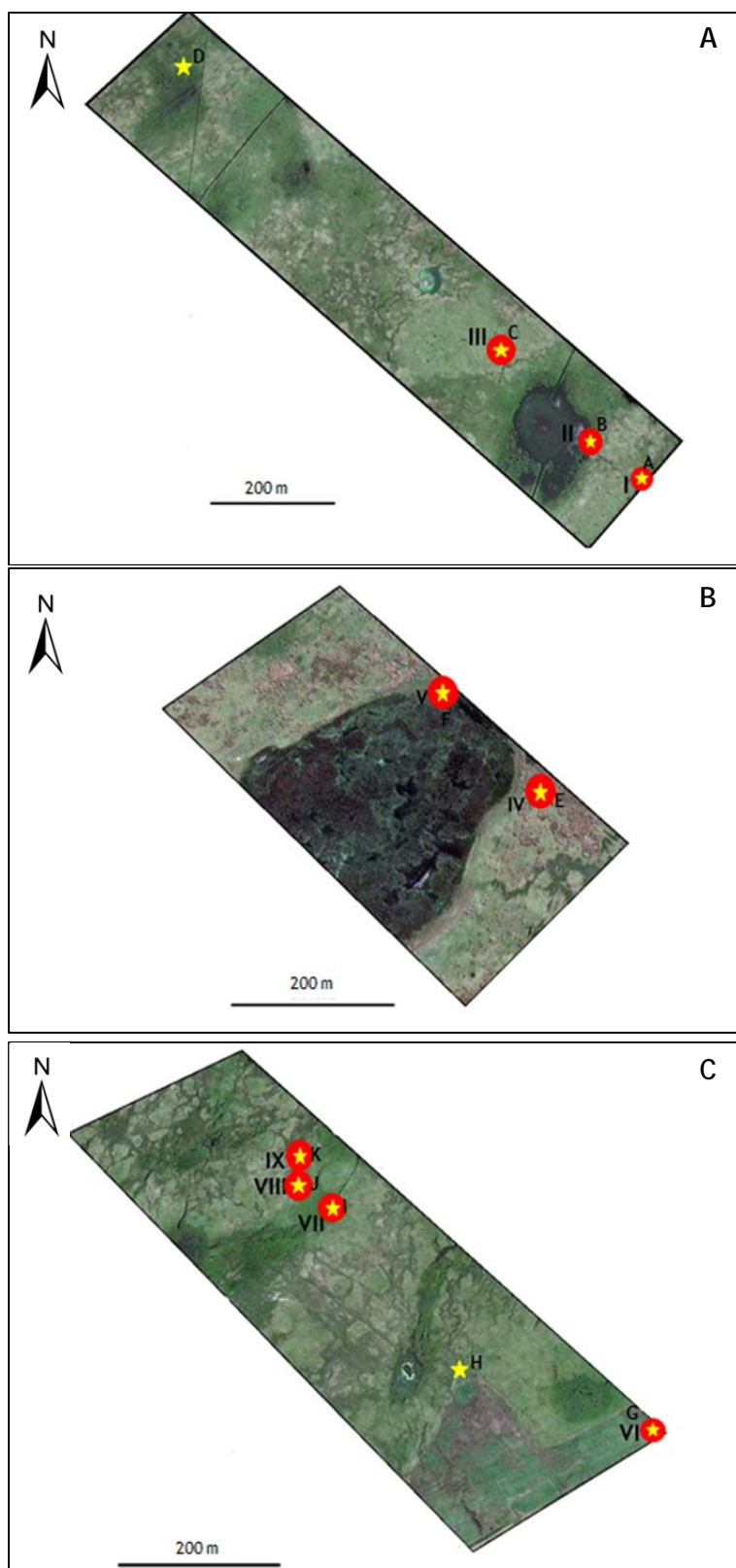


Figura N° 4. 5.: Ubicación de los perfiles de suelos descriptos (círculos rojos) y de los piezómetros instalados (estrellas amarillas) en las Unidades de Análisis 1, 2 y 3 (esquemas A, B y C, respectivamente).

Tabla N° 4. 1.: Descripción del perfil I

Perfil I - Unidad de Análisis 1 - PACCE								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (µS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A	0 - 15	Franco limoso	Granular	2,04	7,97	221	1,2	Por debajo de los 30 cm fuerte cementación con CaCO <sub>3</sub>
BA	15 - 20	Franco limoso	Granular a bloques irregulares débiles	1,23	8,32	242	1	
Bt	20 - 30	Franco limoso	Columnar	1,14	8,4	264	1,2	
Ck	+ 30	Franco limoso	Sin descripción por fuerte cementación	1,09	8,98	266	40,2	

Tabla N° 4. 2.: Descripción del perfil II

Perfil II - Unidad de Análisis 1 - Cubeta de Deflación								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (μS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A	0 - 7	Franco limoso	Granular	3,23	7,36	697	1,8	Sin datos analíticos y morfológicos del horizonte Ck por fuerte cementación con CaCO <sub>3</sub>
Bt1	7 - 30	Franco limoso	Columnar	1,61	6,31	166	0,7	
Bt2	30 - 40	Franco limoso	Columnar disturbado	0,68	7,5	136,5	1,7	
Ck	+ 45	---	---	---	---	---	---	

Tabla N° 4. 3.: Descripción del perfil III

Perfil III - Unidad de Análisis 1 - Duna Parabólica								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (μS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A11	0 - 18	Franco limoso	Granular	1	6,21	150,2	0,9	Límite inferior del horizonte E abrupto y suave
A12	18 - 30	Franco limoso	Granular	0,8	6,47	97,4	0,6	
E	30 - 38	Franco arenoso	Macizo	0,33	8,03	81,1	0,7	
Bt1	38 - 45	Franco limoso	Columnar	0,43	8,61	191,2	0,9	
Bt2	45 - 60	Franco limoso	Columnar disturbado	0,54	8,75	222	0,4	
BC	60 - 70	Franco limoso	Bloques irregulares con tenencia a primas irregulares	0,31	10,08	467	0,7	
Ck1	70 - 85	Franco	Macizo	0,23	10,14	286	0,3	
Ck2	85 - 100	Franco limoso	Macizo	0,48	10,16	462	15,7	

Tabla N° 4. 4.: Descripción del perfil IV

Perfil IV - Unidad de Análisis 2 - Duna de deflación								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (μS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A1	0 - 10	Franco limoso	Granular	2,34	8,54	200	2,1	Evidencias de bioturbación en todo el perfil. Horizontes Bk y Bk cementado funcionan como niveles acuitardos. A partir de los 30 cm aparecen concreciones de Fe en el perfil.
A2	10 - 21	Franco limoso	Granular débil	1,42	7,66	166	2	
B	21 - 30	Franco limoso	Bloques irregulares débiles	1,26	8,56	232	2,5	
Bk	30 - 38	Franco limoso	Bloques irregulares débiles	1,13	9,1	205	35,9	
Bk cementado	38 - 40	---	Macizo por cementación	---	---	---	---	
Ck	+ 60	Franco limoso	Sin determinación posible	0,9	9,17	183,8	46	



Tabla N° 4. 5.: Descripción del perfil V. Datos tomados de Zárate *et al.* (2010). Durante el desarrollo de la tesis no se realizó una nueva descripción por encontrarse la cubeta colmada de agua al momento de realizarse las campañas de relevamiento de suelos.

Perfil V - Unidad de Análisis 2 - Fondo de Cubeta de Deflación								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	MO (%)	pH	CE (μS/cm)	CaCO <sub>3</sub>	Observaciones
A	0 - 28	Limo levemente arenoso	Maciza con tendencia a granular débil	1,75	SIN DATOS	SIN DATOS	6,6	Horizonte Bt con cutanes de arcilla; arriba bioturbación intensa; abajo moteados rojizos de hierro y nódulos de Fe-Mn (superficies metalizadas). Horizonte Ck muy compacto por cementación fuerte con CaCO <sub>3</sub> , con laminación horizontal de hasta 3 cm de espesor.
Bt	28 - 46		Columnar	0,43			6,7	
Ck	+ 46	---	---	---			---	

Tabla N° 4. 6.: Descripción del perfil VI

Perfil VI - Unidad de Análisis 3 - Duna Parabólica								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (μS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A	0 - 27	Franco	Granular	0,82	5,76	90	1,5	Horizonte C similar al material parental, con evidencias de fuerte cementación con CaCO <sub>3</sub> por debajo de los 75 cm.
E	27 - 33	Franco	Sin estructura, macizo	0,31	6,43	75	1	
Bt1	33 - 45	Franco limoso	Columnar	0,46	6,99	121,1	1,2	
Bt2	45 - 65	Franco	Columnar	0,26	9,1	338	0,9	
BC	65 - 75	Franco	Macizo con tendencia a bloques finos débiles	0,51	8,79	345	1,4	
C	+ 75 cm	Franco arenoso	Macizo	0,41	9,32	274	0,4	

Tabla N° 4. 7.: Descripción del perfil VII

Perfil VII - Unidad de Análisis 3 - Llanura de inundación de canal de drenaje								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (μS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A1	0 - 6	Franco limoso	Granular	3,43	6,08	298	2	Horizonte A2 con evidencias de pisoteo. A partir de los 35 cm aparecen nódulos de Mn. Horizonte Btk con nódulos de CaCO <sub>3</sub> friables. Horizonte Ck con laminación débil y desaparición de cutanes.
A2	6 - 12	Franco limoso	Granular	0,96	7,63	214	1,4	
A3	12 - 32	Franco	Fuertemente degradada	0,6	9,43	556	2,5	
Bt	32 - 50	Franco arcilloso	Prismas con tendencia a columnas	0,58	9,58	1192	2,3	
Btk	50 - 70	Franco limoso	Prismas irregulares que rompen a bloques	0,4	9,87	1080	4	
Ck	+ 70	Franco limoso	Macizo	0,31	9,6	519	2,5	

Tabla N° 4. 8.: Descripción del perfil VIII

Perfil VIII - Unidad de Análisis 3 - Microloma								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (µS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A1	0 - 12	Franco limoso	Granular fina a media	1,39	6,2	146,6	2,2	Por debajo de los 56 cm el perfil muestra fuerte cementación con CaCO <sub>3</sub> .
A2	12 - 28	Franco limoso	Granular fina a media	0,78	8,48	240	2	
Bt	28 - 46	Arcillo limoso	Columnar	0,82	9,6	715	2,2	
Btk	46 - 56	Franco limoso	Bloques irregulares a prismas medios	0,73	10,37	821	7,4	
Ck	+ 56	Franco limoso	Macizo	0,85	10,38	721	16	

Tabla N° 4. 9.: Descripción del perfil IX

Perfil IX - Unidad de Análisis 3 - PACCE (sitio con escasa cobertura vegetal dominado por <i>Distichlis</i> sp.)								
Horizonte	Profundidad (cm)	Clase Textural	Estructura	CO (%)	pH	CE (µS/cm)	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Observaciones
A1	0 - 5	Franco limoso	Granular fina a media, moderada	1	10	664	2,6	Fragipan con evidencias de drenaje deficiente
A2	5 - 21	Franco limoso	Granular fina a media, moderada	0,77	10,92	1210	2,2	
Bt	21 - 40	Arcillo limoso	Prismas medios que rompen a bloques irregulares, con tendencia a columnas	0,84	10,9	1543	4	
Btk	40 - 58	Franco limoso	Bloques irregulares	0,65	10,75	1379	3,5	
Fragipan	+ 58	Franco limoso	Macizo	0,26	10,43	579	2,8	

- **Unidad de Análisis 1:** se excavaron 3 calicatas, una en la PACCE (I), otra en el fondo de la cubeta de deflación (II), y la última en la parte más alta de la duna parabólica (III).
- **Unidad de Análisis 2:** se abrieron 2 calicatas, la primera en la parte más alta de la duna asociada a la cubeta de deflación (IV), y la segunda en el fondo de cubeta (V).
- **Unidad de Análisis 3:** se excavaron 4 calicatas, una sobre el margen de la duna parabólica (VI) y 3 en la PACCE (Ilanura de inundación de un pequeño canal de drenaje - VII-, sitio topográficamente elevado -VIII-, y sitio con escasa cobertura vegetal dominado por gramíneas del género *Distichlis* -IX-).

#### 4.2.2.1. Síntesis de las características de los suelos

Todos los suelos descriptos, en primera instancia, presentan un epipedón mólico. Los perfiles exhiben secuencias de horizontes pedológicos similares (horizontes A, B y C de espesores variables), con evidencias de drenaje deficiente (presencia de moteados, nódulos y concreciones de Fe y Mn), a distintas profundidades según el caso (máximas profundidades en los perfiles III, VI y VIII, alrededor de los 45 cm).

Los horizontes A presentan espesores que van desde los 7 hasta los 32 cm (promedio 25 cm aprox.), siempre con textura franco limosa y estructura granular. El perfil VII evidenció degradación en la estructura de su horizonte A2, lo cual se infiere que es producto del pisoteo. El hecho de que solamente uno de los 9 perfiles analizados (el correspondiente a la llanura de inundación de microcanal de drenaje) presente evidencias de degradación por pisoteo, es una demostración de las buenas prácticas de manejo que se realizan en los establecimientos seleccionados. Los horizontes B son todos de tipo Bt, con estructura columnar; textura franco limosa (Unidades de Análisis 1 y 2, más duna parabólica Unidad 3) a arcillo limosa (perfiles restantes de la Unidad 3); algunos perfiles exhiben horizontes de tipo Btk o Bk por debajo del Bt. Por su parte, los horizontes C tienen en general alto contenido de carbonatos; en algunos casos presentan fuerte cementación con  $\text{CaCO}_3$  (profundidad entre 30 y 100 cm) y en unos pocos se observa laminación débil. La estructura columnar del Bt sumado a la presencia de horizontes de tipo Bk, Bk cementado, Fragipan y Ck (cementado o no) funcionan en general como niveles acuitardos. En las figuras N° 4.6., 4.7. y 4.8. se muestran los esquemas de los perfiles de suelos descriptos en las Unidades de Análisis 1, 2 y 3, respectivamente.

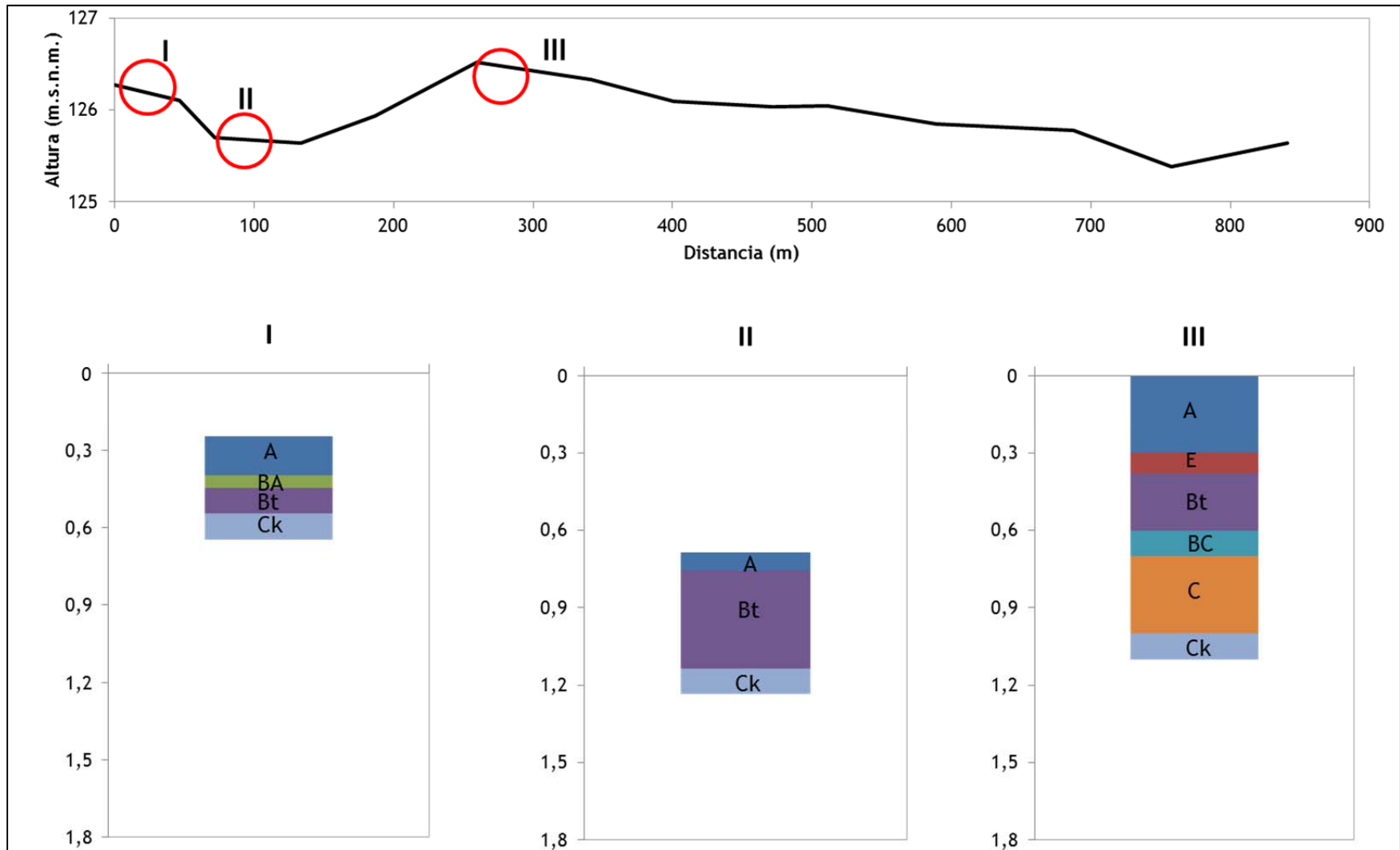


Figura N° 4. 6.: Representación esquemática de la topografía y los perfiles de suelos descritos en la Unidad de Análisis 1.

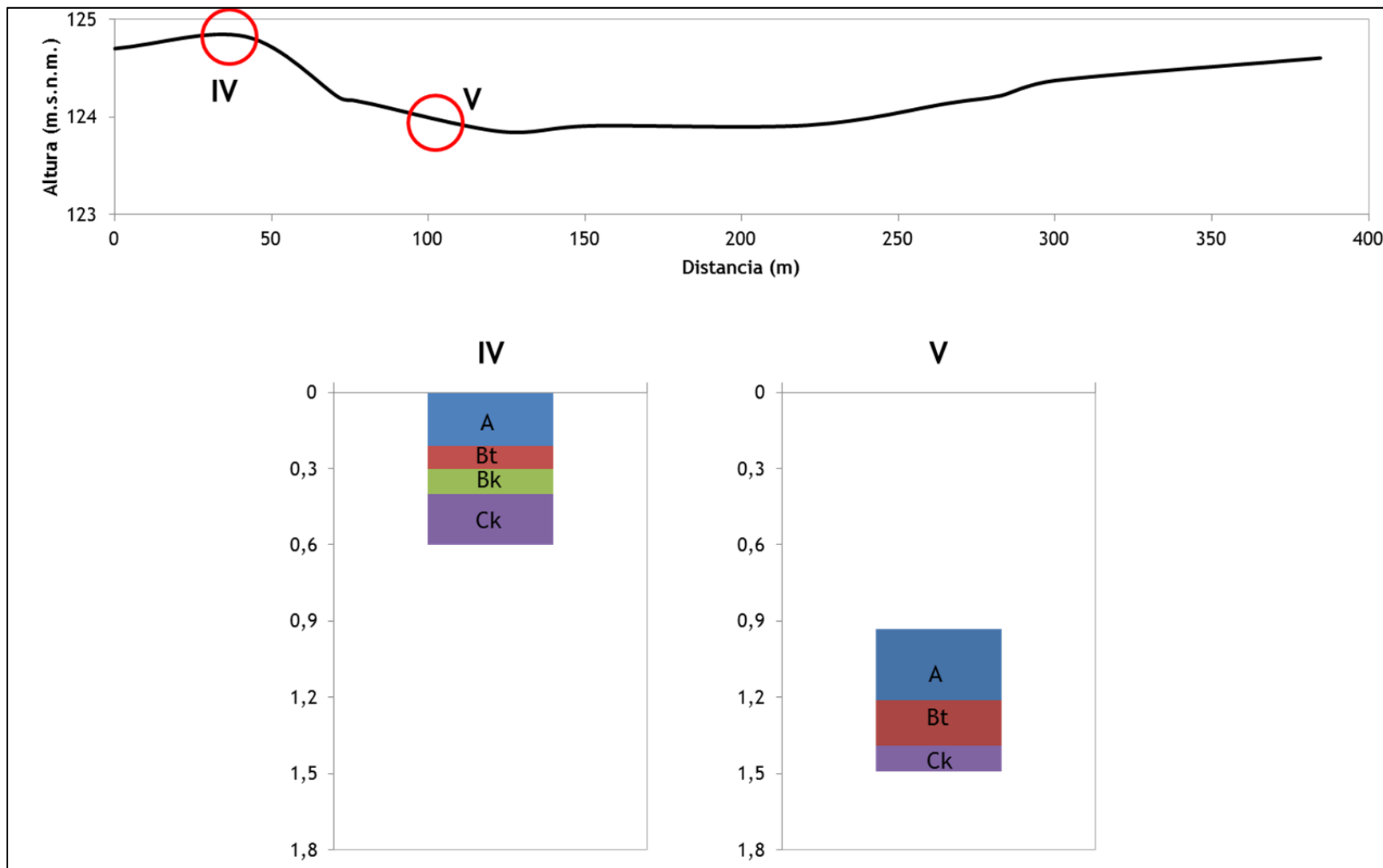


Figura N° 4. 7.: Representación esquemática de la topografía y los perfiles de suelos descriptos en la Unidad de Análisis 2.



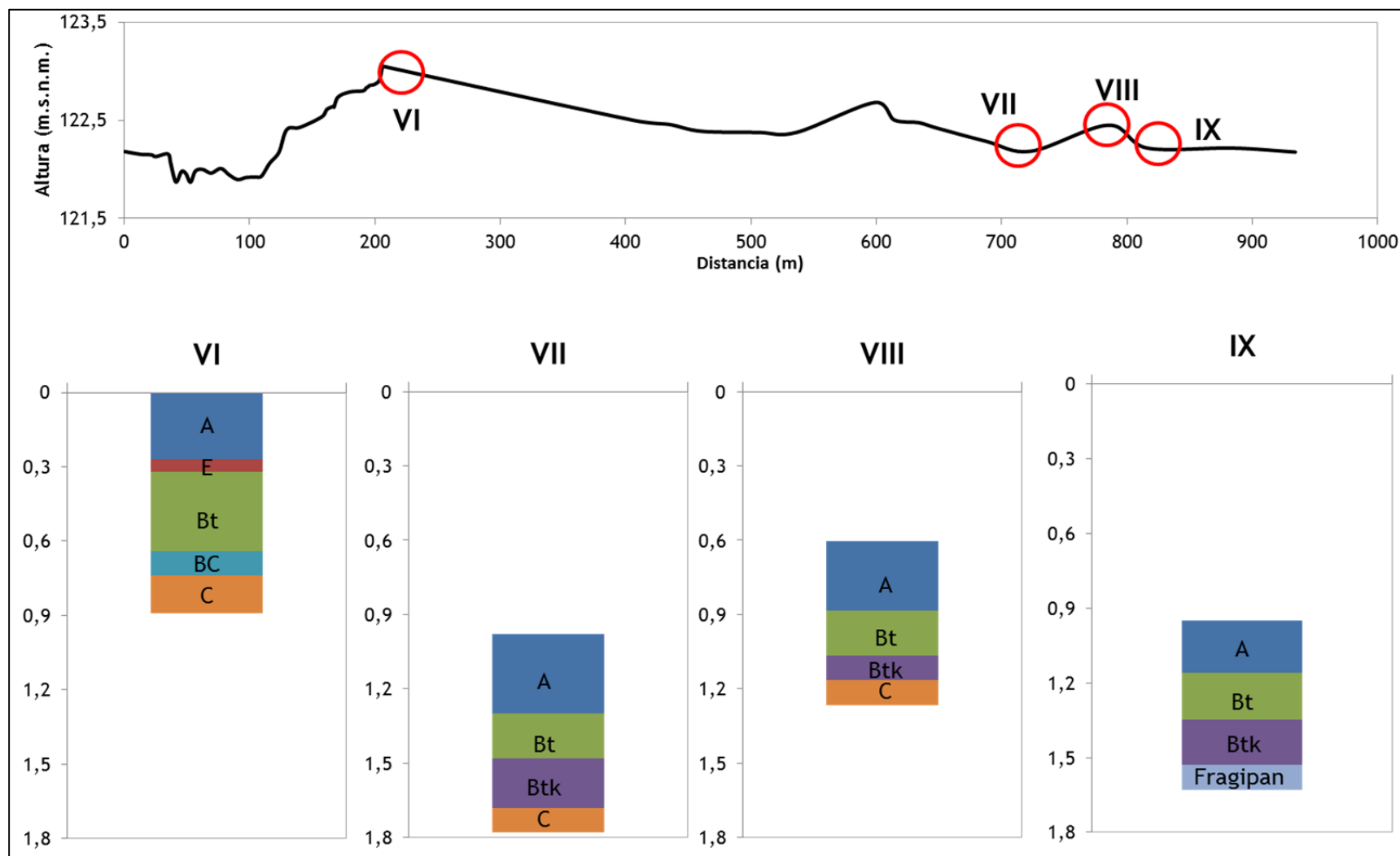


Figura N° 4. 8.: Representación esquemática de la topografía y los perfiles de suelos descritos en la Unidad de Análisis 3.

De acuerdo con la salinidad, todos los perfiles se clasifican como “no salinos”, por presentar valores de CE inferiores a 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en todos sus horizontes. Con respecto a la reacción del suelo, de forma general se observa que la mayoría son entre medianamente ácidos y moderadamente alcalinos en los 20 cm más superficiales, con excepción del perfil IX cuyos valores de pH son muy elevados desde la superficie (muy fuertemente alcalino). Por debajo de los 20 cm de profundidad, todos los perfiles se vuelven fuertemente alcalinos, con excepción de los descriptos sobre ambos brazos de la duna parabólica, con valores de pH cercanos a 7 entre 20 y 40 cm, y se tornan alcalinos por debajo de los 40 cm. La clasificación de los perfiles según su pH a diferentes profundidades se presenta en la tabla N° 4.10.

Tabla N° 4. 10.: Clasificación de los perfiles de suelos de acuerdo con sus valores de pH a distintas profundidades.

Perfil	0-20	20-40	40-60	60-80
I	Moderadamente alcalino	Fuertemente alcalino	---	---
II	Neutro	Neutro	---	---
III	Débilmente ácido	Neutro	Fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino
IV	Moderadamente alcalino	Fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino	---
V	SIN DATOS			
VI	Medianamente ácido	Neutro	Muy fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino
VII	Neutro	Muy fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino
VIII	Medianamente ácido	Fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino	---
IX	Muy fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino	Muy fuertemente alcalino

#### 4.2.3. Agua freática

En el área de estudio, se construyeron 11 piezómetros someros para el análisis de variaciones temporales y espaciales de las profundidades del nivel freático y la composición química del agua subterránea. Los mismos se ubicaron de la siguiente manera (Figura N° 4.5.):

- **Unidad de Análisis 1:** se instalaron 4 piezómetros, dos en la PACCE (A y D), otro en el fondo de la cubeta de deflación (B), y el restante en la parte más alta de la duna parabólica (C).

- **Unidad de Análisis 2:** se ubicaron 2 piezómetros, uno en la parte más alta de la duna asociada a la cubeta de deflación (E) y el otro en el fondo de la misma (F).

- **Unidad de Análisis 3:** se construyeron 5 piezómetros, los tres primeros en la PACCE, otro en el margen de la duna parabólica (G), y el restante en el límite entre ambos elementos del paisaje (H). En la mencionada planicie, se ubicaron uno en un pequeño canal de drenaje (I), otro en un sitio topográficamente elevado (J), y el último se colocó en un sitio con escasa cobertura vegetal dominado por pastos salados (K).

Las variaciones espaciales y temporales de la dinámica del nivel freático en los piezómetros instalados se analizaron durante un año consecutivo, entre septiembre de 2016 y agosto de 2017. Los niveles freáticos en cada piezómetro se consideraron en relación con las lluvias mensuales del periodo (Figura N° 4.9.):

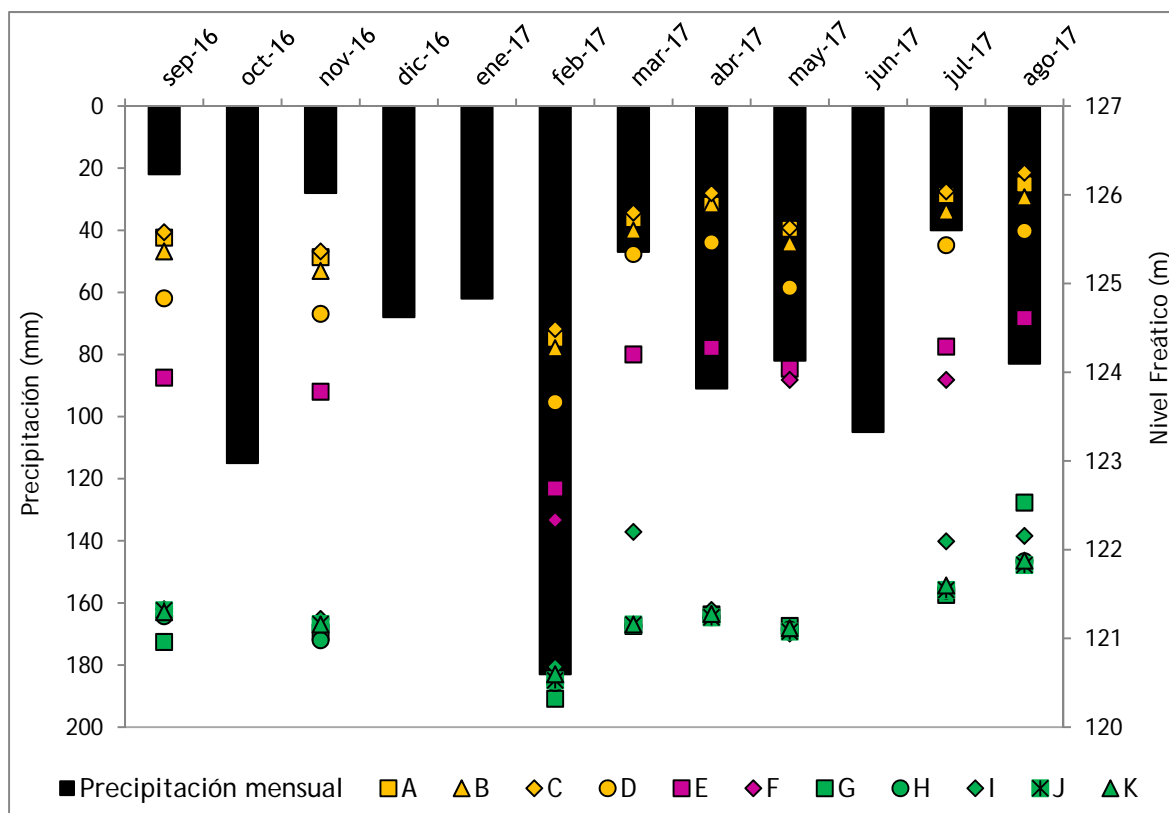


Figura N° 4. 9.: Precipitación mensual (eje vertical primario) y nivel freático (eje vertical secundario) en los piezómetros instalados para el periodo sep16 - ago17. Piezómetros ubicados en Unidades de Análisis 1, 2 y 3, se simbolizan con amarillo, rosa y verde, respectivamente.

Las variaciones de los niveles freáticos se relacionan con las lluvias ocurridas en el periodo y con la estacionalidad característica del área de estudio:

- Durante el final de la primavera y el verano, de forma general, los niveles freáticos se encuentran a mayor profundidad. Esto ocurre principalmente debido a las grandes salidas por evapotranspiración que, a pesar de la abundancia de precipitaciones, dan como resultado déficit de agua en el sistema (balance hídrico negativo), motivo por el cual se concentran las aguas freáticas.
- Durante el otoño e invierno, los niveles tienen a estar más próximos a la superficie en general. En estos periodos las pérdidas por evapotranspiración son mínimas y las precipitaciones abundantes, lo que resulta en excesos de agua en el sistema (balance hídrico positivo) y la consecuente dilución de las aguas freáticas.

A pesar de que en esta investigación se analiza el periodo sep-16 a ago-17, los primeros piezómetros se instalaron en marzo de 2012, por lo que se cuenta con una serie de datos más extensa, aunque discontinua por complicaciones logísticas. Sin embargo, las mediciones realizadas muestran que durante inviernos húmedos como los ocurridos en 2012, 2014 y 2017, los niveles freáticos ascienden hasta alcanzar la zona de exploración radical en todos los sitios, aunque con frecuencia y profundidad variables (excepto en los piezómetros C y G).

La variación conjunta de los niveles freáticos en cada piezómetro evidencia el comportamiento similar que presentan (Tabla N° 4.11.). De forma general, las correlaciones entre los piezómetros son elevadas y significativas, siendo más elevadas en el interior de las Unidades de Análisis que para piezómetros de distintas Unidades. Las correlaciones obtenidas para el piezómetro F (Unidad de Análisis 2) no son estadísticamente significativas, debido a la escasa cantidad de observaciones con las que se cuenta (3 observaciones donde la boca de pozo no se encontraba bajo agua), motivo por el cual se excluyó de la Tabla N° 4.11. Los valores de  $R^2$  más bajos para las comparaciones entre niveles freáticos corresponden con el piezómetro I, si se lo compara con los demás pozos ubicados en la Unidad 3 como así con los instalados en las Unidades restantes. El piezómetro G también muestra valores bajos de  $R^2$  cuando se lo compara con los pozos de las demás Unidades de Análisis (1 y 2) pero, a diferencia del I, presenta correlaciones más altas con los piezómetros ubicados en la Unidad 3.

Tabla N° 4. 11.: Correlaciones entre los niveles freáticos en cada piezómetro (periodo sep16 a ago17). Diagonal inferior: coeficientes  $R^2$ . Diagonal superior: significancia estadística.

	A	B	C	D	E	G	H	I	J	K
A	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
B	0,99	1	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01
C	0,99	0,99	1	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
D	0,98	0,99	0,98	1	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01
E	0,98	0,97	0,98	0,97	1	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00

G	0,65	0,63	0,69	0,62	0,68	1	0,00	0,05	0,00	0,00
H	0,86	0,82	0,87	0,79	0,84	0,84	1	0,02	0,00	0,00
I	0,63	0,58	0,62	0,66	0,61	0,51	0,65	1	0,02	0,02
J	0,81	0,76	0,82	0,73	0,81	0,84	0,97	0,61	1	0,00
K	0,80	0,75	0,81	0,72	0,79	0,87	0,98	0,61	0,99	1

El análisis de las variaciones en la altura del agua freática evidencia que en periodos de mayor déficit hídrico, como el ocurrido entre noviembre y febrero, la altura del nivel freático es similar en todos los piezómetros suavizando la micro-topografía local. Por otro lado, las mediciones realizadas en el piezómetro I y las bajas correlaciones calculadas entre éste y los demás, permiten inferir que, en periodos de mayor exceso hídrico (marzo-agosto 2017), existe un proceso de recarga por infiltración del agua superficial que escurre por el canal de drenaje próximo al piezómetro (Figura 4.10.).

El estudio hidroquímico se realizó a partir de los resultados de 22 análisis químicos. Las muestras de agua proceden de los piezómetros instalados en las 3 Unidades de Análisis, los cuales fueron muestreados en dos periodos hidrológicos contrastantes: septiembre de 2016 (fines del invierno, representativo de un período húmedo) y febrero de 2017 (mitad del verano, representativo de un periodo seco).

El análisis de los diagramas de Stiff construidos a partir de las proporciones de iones mayoritarios muestra que, en líneas generales, todas las aguas son  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ , y se reconocen algunas diferencias entre ellas (Tabla N° 4.12.). Particularmente:

- En la Unidad de Análisis 1, los análisis de septiembre muestran que los piezómetros A y C son  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  con iguales proporciones de Ca y Mg y presencia de Cl, mientras que el B y el D son  $\text{HCO}_3\text{-Ca/Na}$  y  $\text{HCO}_3\text{-Na/Ca}$ , respectivamente, ambas con concentraciones muy bajas de cloruros. Para el mes de febrero, A y C muestran una gran disminución en el contenido de Mg, y los piezómetros B y D se mantienen sin cambios considerables.

- En la Unidad de Análisis 2, el piezómetro E tienen aguas  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  en ambas fechas; el F presenta aguas del mismo tipo en el mes de febrero. No se cuenta con datos del mes de septiembre por encontrarse bajo agua la boca de pozo.

- En la Unidad de Análisis 3, todos los piezómetros presentan aguas  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ , en general con mayor contenido de estos iones que en las demás Unidades de Análisis, así como de Cl y  $\text{SO}_4$ . No se observan variaciones destacables entre las muestras de septiembre y febrero, con excepción del contenido de Ca en el pozo J (menor contenido en verano). Los diagramas permiten observar que el piezómetro H presenta las aguas con mayores cantidades de  $\text{HCO}_3$ , Na, Cl y  $\text{SO}_4$ , y valores muy bajos de Ca y Mg. Esto último se repite en el pozo K.

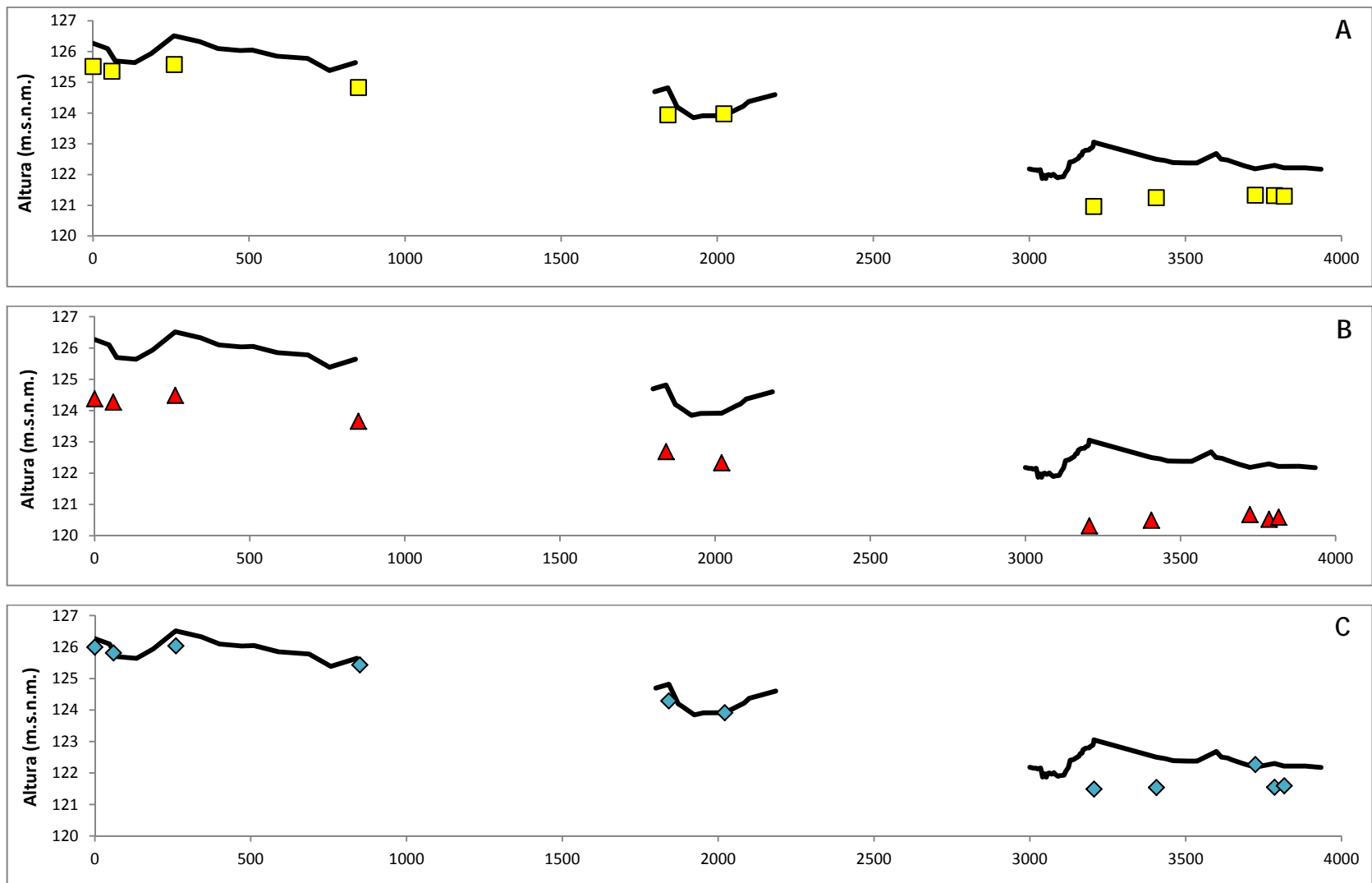
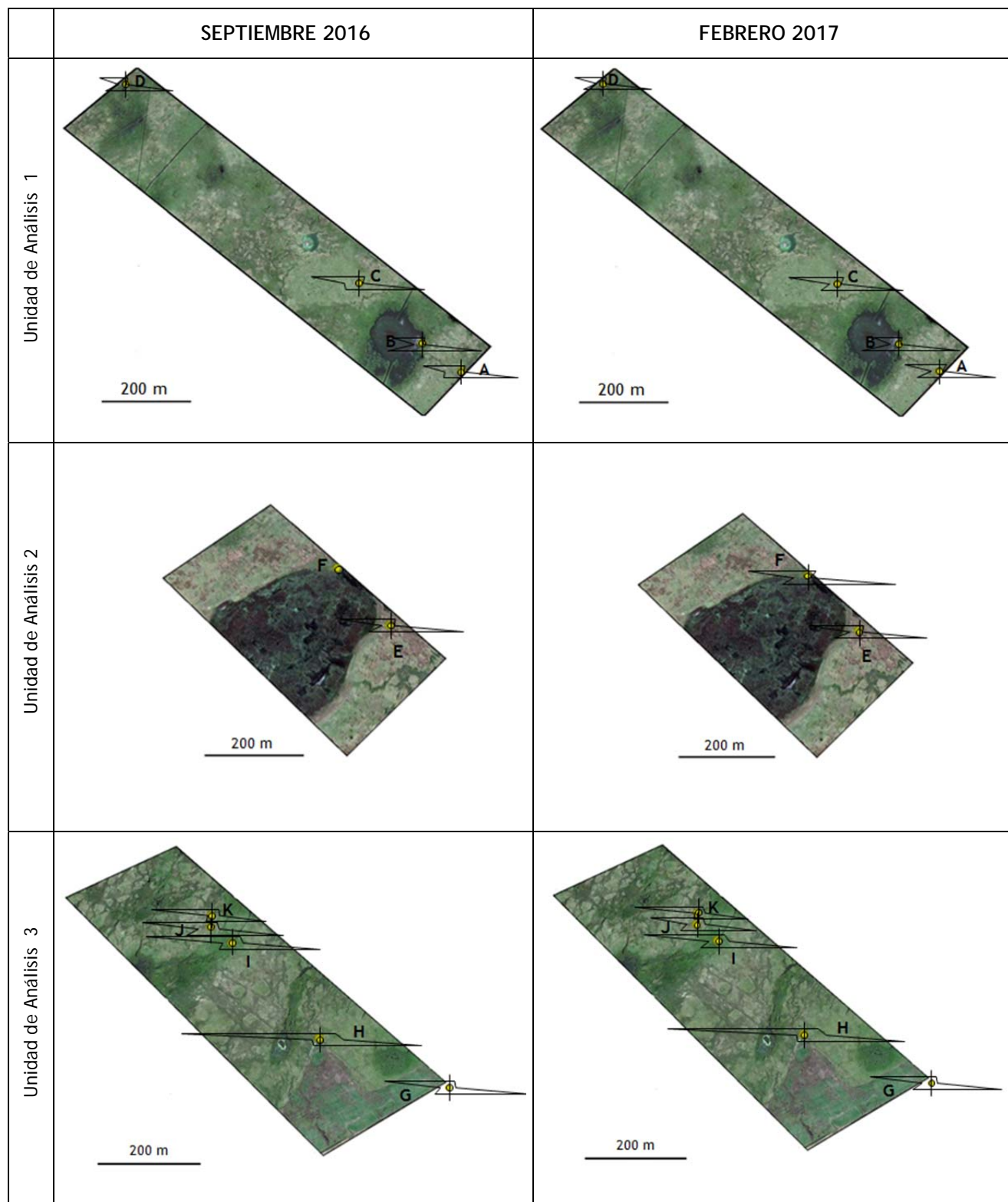


Figura N° 4. 10.: Perfiles topográficos (orientación sudeste-noroeste) para las Unidades de Análisis y niveles freáticos en cada piezómetro para A. septiembre 2016; B. febrero 2017; y C. julio 2017.

Tabla N° 4. 12.: Diagramas de Stiff para las muestras de agua freática extraídas de los piezómetros analizados en septiembre 2016 y febrero de 2017.



En la figura N° 4.11. se representan los contenidos de Ca y Mg, Na y  $\text{HCO}_3$ , Cl y  $\text{SO}_4$ , y pH y CE, para las muestras analizadas en ambas fechas. Todos los piezómetros mostraron valores superiores de CE en el mes de febrero que en septiembre, fecha en la cual los niveles freáticos se encontraban a mayor profundidad. La excepción es el pozo J, que presenta un comportamiento inverso. De forma general, las aguas de la Unidad de Análisis 3 y del pozo F (Unidad 2) presentan CE mayores que el resto. Al interior de la Unidad de Análisis 1 se observan CE inferiores en el pozo D que en los demás. En la Unidad 3, el piezómetro H arrojó mayores CE y el pozo K las menores en ambas fechas.

Los valores de pH obtenidos para septiembre y febrero muestran que no hay variaciones considerables entre fechas, con excepción de los piezómetros G y K que presentan mayores diferencias, pero con tendencia inversa (el piezómetro G tiene mayor pH en septiembre mientras que el K tiene mayor pH en febrero).



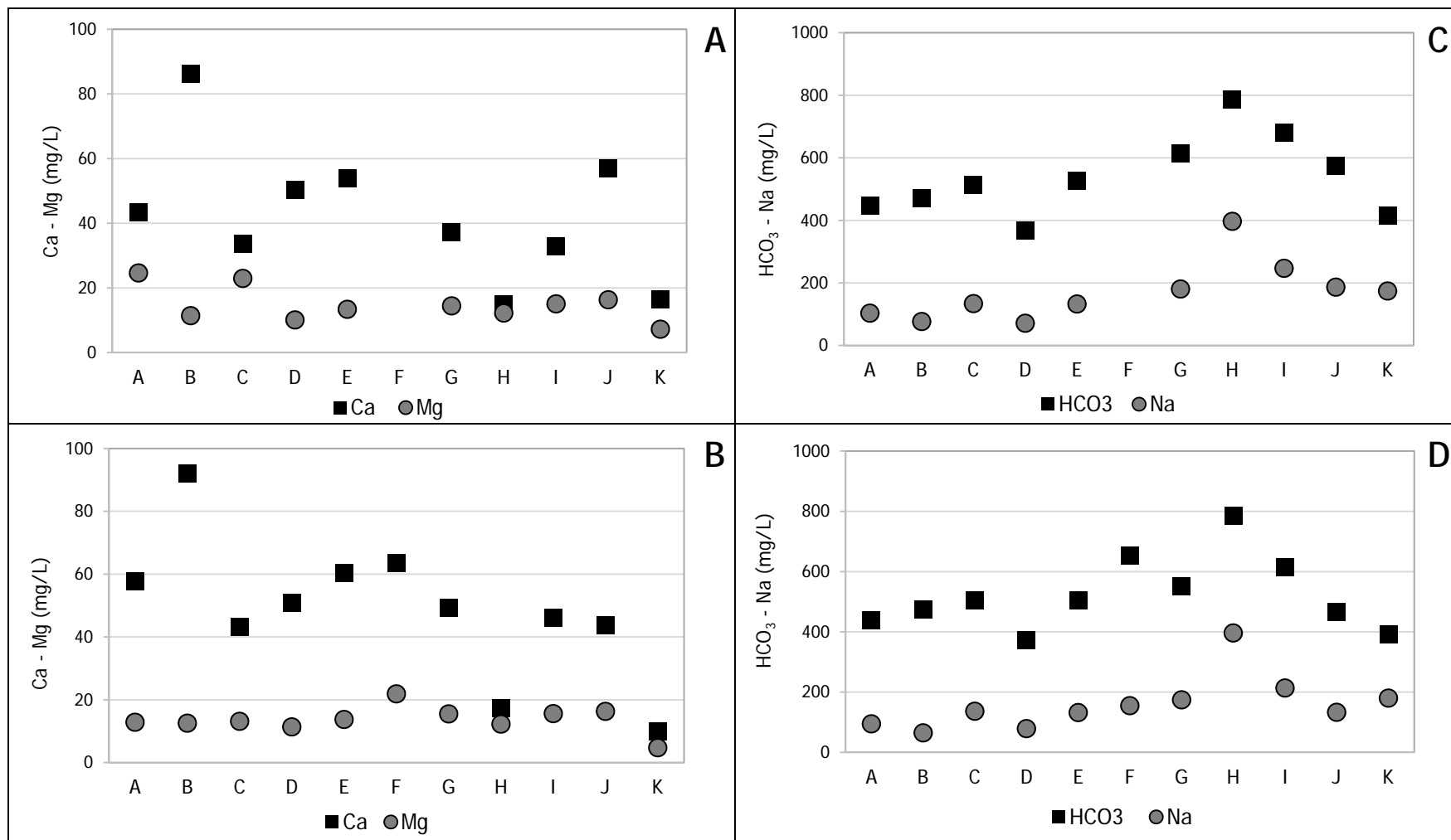


Figura N° 4. 11.: Datos químicos de las muestras de agua extraídas de los piezómetros analizados. A. Ca y Mg (septiembre). B. Ca y Mg (febrero). C. HCO<sub>3</sub> y Na (septiembre). D. HCO<sub>3</sub> y Na (febrero).

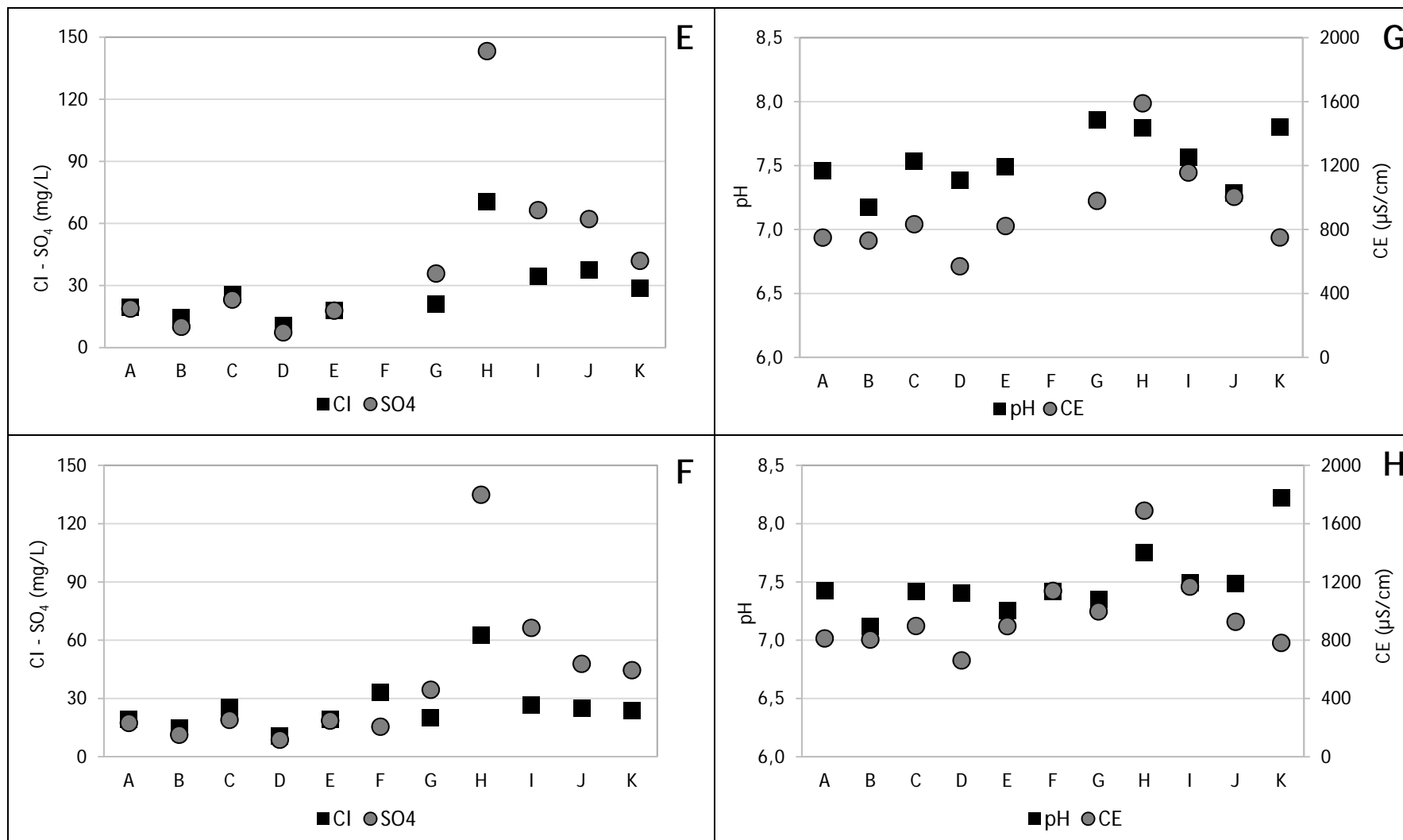


Figura N° 4.11. (continuación): E. Cl y SO<sub>4</sub> (septiembre). F. Cl y SO<sub>4</sub> (febrero). G. pH y CE (septiembre). H. pH y CE (febrero).

#### 4.2.4. Vegetación

##### 4.2.4.1. Fisonomía

A continuación se describe la fisonomía particular de cada uno de los potreros seleccionados.

- **Unidad de Análisis 1:** tanto en la PACCE como en el fragmento de duna parabólica presenta un pastizal dominado por *Paspalum quadrifarium* Lam. (paja colorada) equivalente al *Paspaletum* en sentido de Vervoorst (1967). Dicha especie, formadora de matas altas y densas, es más abundante en el sector nor-noroeste del potrero (Figura N° 4.12.A.). Por otro lado, en el sector sudeste del mismo, se encuentra la cubeta de deflación (Figura N° 4.12.B.), colmada de agua en las épocas de toma de datos, se observan especies hidrófitas (que cumplen sus ciclos vitales en el agua, sumergidas, emergentes o flotantes, libres o arraigadas al sustrato) y palustres (aquellas que viven en sitios sujetos a fluctuaciones en el régimen hídrico y suelen presentar órganos de fijación, sostén y reserva enterrados en el sustrato).





Figura N° 4. 12.: Unidad de Análisis 1. A. Vista general del pajonal. B. Vista general de la cubeta de deflación.

- **Unidad de Análisis 2:** se destaca la presencia de un cuerpo de agua temporario (cubeta de deflación) que abarca la mayor parte de la Unidad y se encuentra dominado por vegetación hidrófita y palustre (Figura N° 4.13.A.). En dicha cubeta, de mayor extensión que la ubicada en la Unidad 1, se reconoce la zonación característica señalada por Vervoorst (1967) para las épocas húmedas: desde la orilla hacia el centro se reconoce un duraznillar de *Solanum glaucophyllum* Desf. ("Duraznillo blanco" -arbusto poco ramificado de hasta 1,5 m de altura, tóxico para el ganado), un juncal de *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják var. *californicus* ("Junco" - ciperácea formadora de matas densas que alcanza hasta 2 m de altura, con poderosos rizomas horizontales) y un espejo de agua más o menos libre donde se destaca la presencia de especies del género *Eleocharis* R. Br. y de *Azolla filiculoides* Lam. ("helechito de agua" - flotante libre que en primavera/verano adquiere tonalidades rojizas). Rodeando la mencionada cubeta, tanto en la duna de deflación ubicada en el margen oriental como en la continuación de la PACCE, se presenta un pastizal natural donde nuevamente se destaca la presencia de matas aisladas de *P. quadrifarium* (Figura N° 4.13.B.).





Figura N° 4. 13.: Unidad de Análisis 2. A. Vista general de la cubeta de deflación. B. Vista general de la duna de deflación asociada a la cubeta

▪ **Unidad de Análisis 3:** la PACCE presenta una fisonomía aparentemente homogénea (Figura N° 4.14.A.), predominando especies rastreras, arrosetadas o de escasa altura, entre las que sobresalen gramíneas erectas de los géneros *Nassella* (Trin.) É.Desv., *Piptochaetium* J.Presl y *Poa* L., entre otros. El sector del potrero correspondiente a la duna parabólica se encuentra totalmente modificado por su utilización para el cultivo de soja, maíz o cebada, además de usarse para el trazado del camino de ingreso al casco del establecimiento agropecuario (Figura N° 4.14.B.). Una observación más detallada permite reconocer la heterogeneidad interna que presenta el pastizal: se destaca la presencia de manchones con escasa cobertura vegetal (Figura N° 4.14.C.) donde dominan especies halófitas o halotolerantes típicas de suelos alcalinos y/o salinos (*Distichlis spicata* (L.) Greene, *Distichlis scoparia* (Kunth) Arechav., *Spergula ramosa* (Cambess.) D. Dietr., *Parapholis incurva* (L.) C.E. Hubb., entre otras), pequeñas elevaciones dominadas por varias especies de cardos (*Cirsium vulgare* (Savi) Ten., *Carduus acanthoides* L., *Centaurea calcitrapa* L.), paja vizcachera (*Amelichloa caudata* (Trin.) Arriaga & Barkworth) y cebadillas (*Bromus catharticus* Valh., *Bromus hordeaceus* L.) entre otras, y pequeños canales de drenaje donde aparecen especies como *Marsilea ancylopoda* A. Braun (trébol de cuatro hojas acuático), *Eleocharis* sp. R. Br. (junquillos), *Paspalum vaginatum* Sw. y *Leersia hexandra* Sw. (arrocillo), entre otras.







Figura N° 4. 14.: Unidad de Análisis 3. A. Vista general de la PACCE. B. Vista general del fragmento de duna parabólica. C. Vista en detalle de un manchón dominado por especies halófitas.

#### 4.2.4.2. Composición Florística

Durante los muestreos realizados en diciembre de 2014 y 2015, se identificaron 171 especies diferentes de plantas vasculares (Listado completo en Anexo N° 1), de las cuales 75 pertenecen a la clase Liliopsida y 93 a la clase Magnoliopsida. Las familias más representadas son Poáceas (54), Asteráceas (28) y Ciperáceas (12), representando el 32, 17 y 7 % respectivamente. Con respecto al *status*, la mayoría son nativas (51 %); el 90 % fueron clasificadas como hierbas y el 65 % con ciclo de vida perenne (Tabla N° 4.13.).

Tabla N° 4. 13.: Número y proporción de especies encontradas por unidad de análisis para cada clase, status, hábito, ciclo de vida y familia más representativa.

		Unidad de Análisis 1		Unidad de Análisis 2		Unidad de Análisis 3		Total	
		N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Clases	Total Especies	121	100	94	100	112	100	171	100
	Determinadas a nivel específico	116	95,87	87	92,55	108	96,43	158	92,40
	Marchantiopsida	0	0,00	1	1,06	0	0,00	1	0,58
	Pteridopsida	2	1,65	1	1,06	1	0,89	2	1,17
	Liliopsida	61	50,41	35	37,23	54	48,21	75	43,86
Familias	Magnoliopsida	58	47,93	57	60,64	57	50,89	93	54,39
	N° de Familias	32		28		26		37	
	Poaceae	44	36,36	23	24,47	38	33,93	54	31,58
	Asteraceae	17	14,05	18	19,15	18	16,07	28	16,37
	Cyperaceae	8	6,61	6	6,38	8	7,14	12	7,02
	Apiaceae	6	4,96	5	5,32	3	2,68	7	4,09
	Fabaceae	4	3,31	4	4,26	5	4,46	7	4,09
Status	Otras	42	34,71	38	40,43	40	35,71	63	36,84
	Endémicas	21	17,36	10	10,64	26	23,21	29	16,96
	Nativas	64	52,89	48	51,06	55	49,11	87	50,88
	Adventicias	22	18,18	21	22,34	20	17,86	31	18,13
	Naturalizadas	2	1,65	3	3,19	2	1,79	3	1,75



	Introducidas	7	5,79	5	5,32	5	4,46	8	4,68
Hábito	Hierbas	112	92,56	84	89,36	105	93,75	154	90,06
	Arbustos	1	0,83	1	1,06	1	0,89	1	0,58
	Subarbustos	2	1,65	0	0,00	2	1,79	2	1,17
	Enredaderas	1	0,83	1	1,06	0	0,00	1	0,58
Ciclo de vida	Anuales	21	17,36	25	26,60	20	17,86	35	20,47
	Perennes	86	71,07	54	57,45	79	70,54	111	64,91
	Bianuales	9	7,44	7	7,45	9	8,04	12	7,02

Cabe mencionar que 45 especies (26,3 %) son comunes a todas las Unidades de Análisis. Por otro lado, 60 especies (35,1 %) son exclusivas de una única Unidad de Análisis: 23, 22 y 15 para la 1, 2 y 3, respectivamente.

Por otro lado, los potreros seleccionados están efectivamente ocupados por pastizales naturales según la definición propuesta por el “Proyecto de Incentivos Oficiales a la Conservación de los Pastizales Naturales del Cono Sur de Sudamérica”. El mismo está formado por los gobiernos de la región (Estado de Rio Grande do Sul, Brasil; provincias argentinas de Santa Fe, Entre Ríos y Formosa; gobiernos de Uruguay y Paraguay) y las organizaciones “Alianza del Pastizal” y “Aves de Uruguay”, con el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), persiguiendo el objetivo de contribuir a la conservación de los pastizales naturales a través de un sistema de incentivos a los productores rurales que realizan un manejo conservacionista de sus predios (Parera *et al.*, 2014). En el marco de dicho proyecto, se desarrolló un Índice de Contribución a la Conservación de los Pastizales Naturales del Cono Sur (ICP), que define a un pastizal natural como cualquier fracción del terreno que tiene aspecto general de pastizal natural, dominado por especies herbáceas nativas, con menos del 30 % de cobertura de leñosas arbóreas y menos del 70 % de cobertura de leñosas arbustivas, que no ocupe suelos procedentes del desmonte en los últimos 40 años (Oyarzabal, 2014).

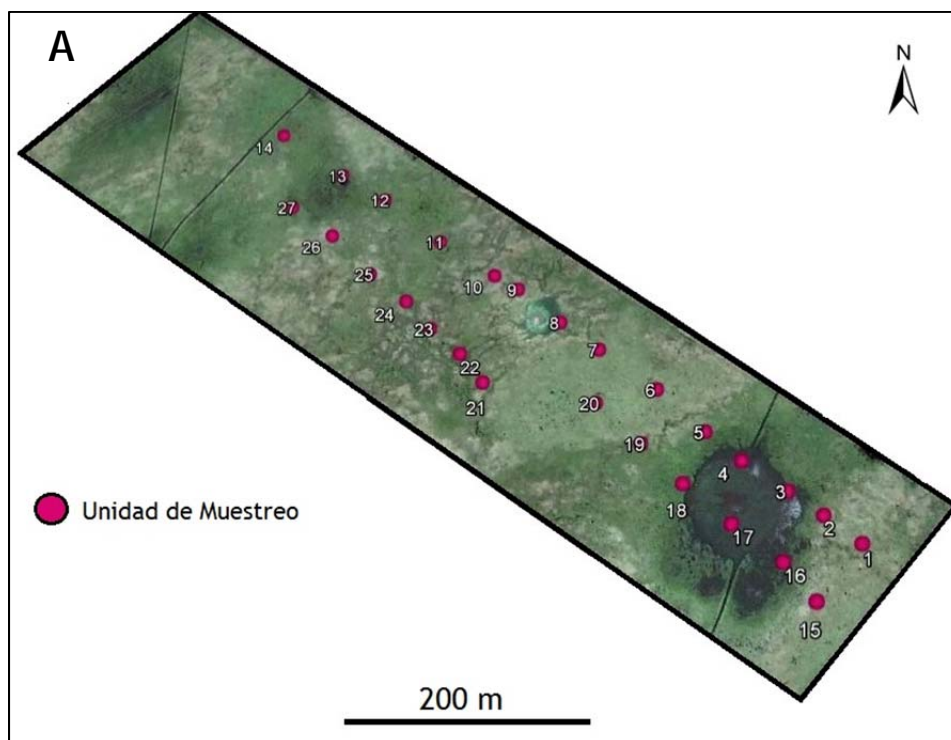
A pesar de no haber aplicado el ICP sobre los establecimientos agropecuarios seleccionados, del análisis de la composición florística de las 3 Unidades de Análisis se desprende que las mismas están ocupadas por pastizales naturales ya que tienen aspecto general de pastizal natural constituido casi exclusivamente por especies herbáceas en su mayoría perennes, siendo dominantes las especies nativas y endémicas, preponderando los pastos (familia Poáceas). Además, a la luz del ICP, los pajonales de *P. quadrifarium* del área de estudio son considerados Áreas de Valor Especial por ser Áreas Valiosas de

Pastizal (Bilenca y Miñarro, 2004), lo cual incrementa el interés por el conocimiento de su estructura interna.

#### 4.3. Caracterización de unidades muestrales

La disposición de unidades muestrales sobre transectas paralelas en las tres Unidades de Análisis seleccionadas dio como resultado la inclusión de 77 unidades, las cuales se ubicaron de la siguiente manera (Figura N° 4.15.), y fueron numeradas de forma correlativa entre la 1 y la 77.

- **Unidad de Análisis 1:** 27 unidades de muestreo totales, desde N° 1 a 14 en la transecta noreste y, desde N° 15 a 27 en la transecta sudoeste.
- **Unidad de Análisis 2:** 22 unidades de muestreo totales, desde N° 28 a 39 en la transecta noreste, y desde N° 40 a 49 en la transecta sudoeste.
- **Unidad de Análisis 3:** 28 unidades de muestreo totales, desde N° 50 a 63 en la transecta noreste, y desde N° 64 a 77 en la transecta sudoeste.



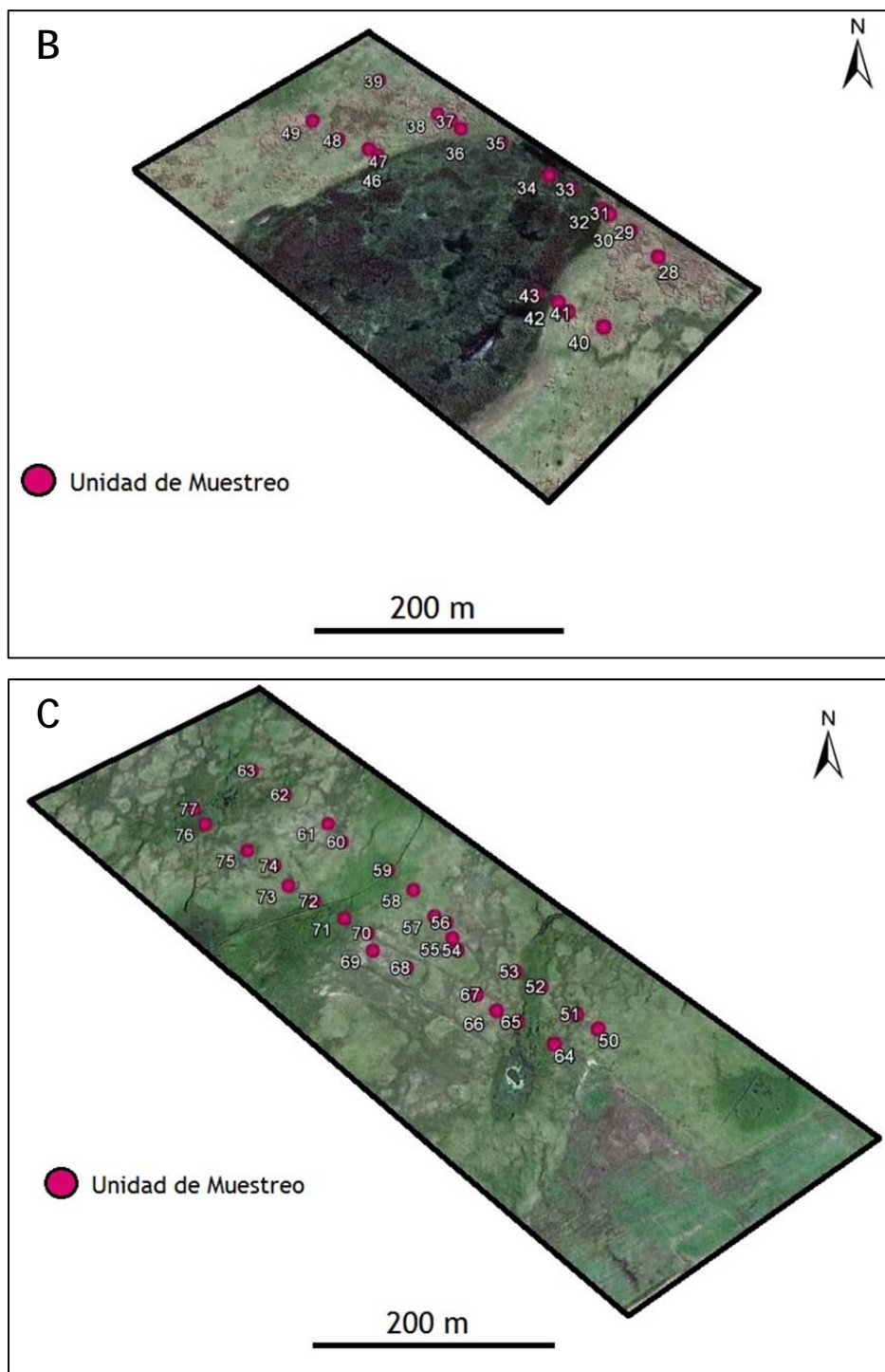


Figura N° 4. 15.: Disposición de las 77 unidades de muestreo seleccionadas. A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3.

### 4.3.1. Topografía

La observación detallada de los perfiles topográficos construidos para cada transecta donde se ubicaron las unidades muestrales (Figura N° 4.16.), permiten apreciar las pequeñas diferencias en altura topográfica que presentan entre los distintos puntos de muestreo ubicados sobre la misma transecta.

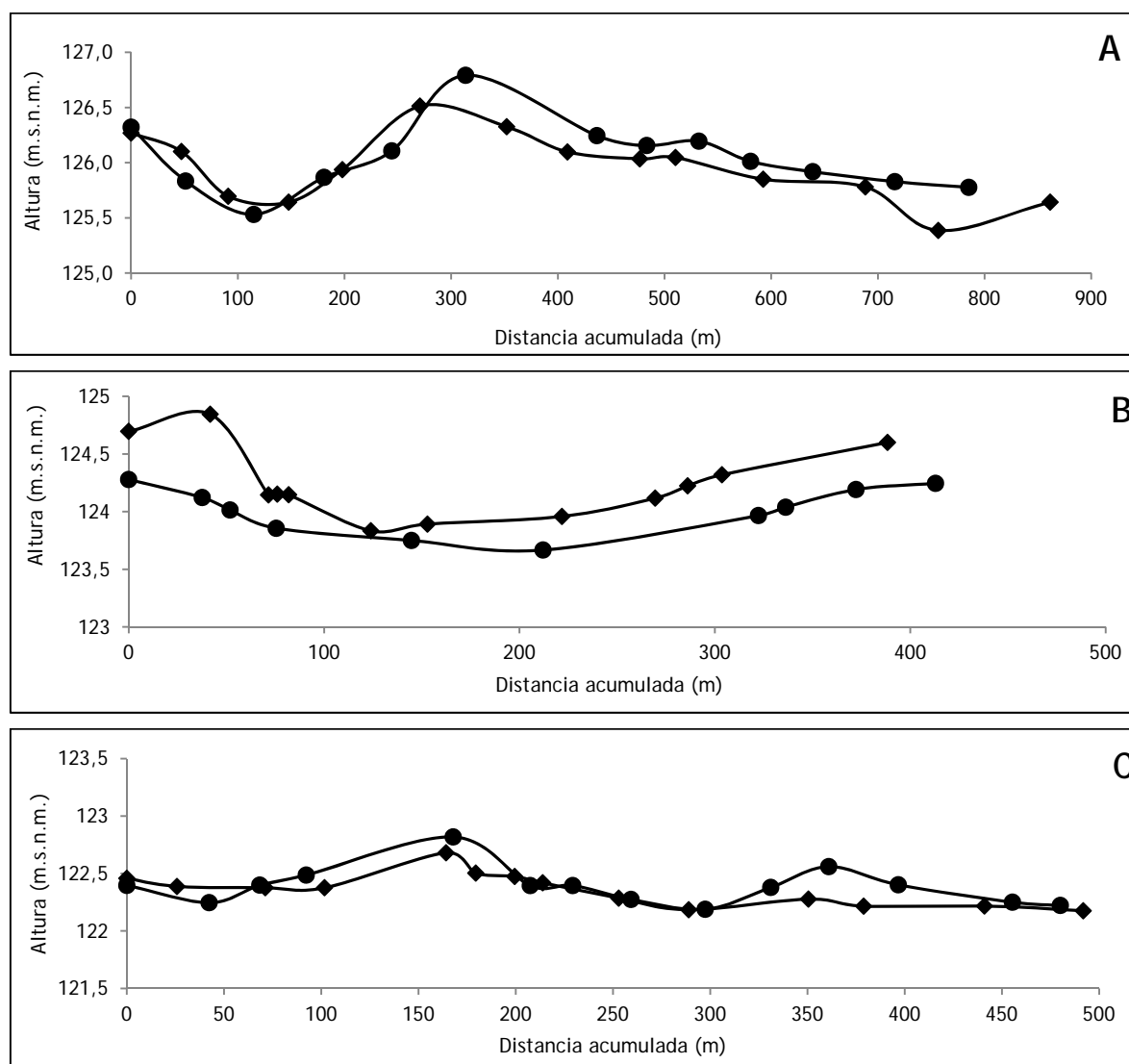


Figura N° 4. 16.: Perfiles topográficos de las transectas noreste (rombos) y sudoeste (círculos) para A. Unidades de Análisis 1. B. Unidades de Análisis 2. C. Unidades de Análisis 3.

Los valores máximos, mínimos y promedios son 126,79 m, 125,38 m y 125,99 m, para la Unidad de Análisis 1 (el máximo coincide con la parte más alta de la duna parabólica, y el mínimo con el fondo de la cubeta de deflación); 124,85 m, 123,66 m y 124,13 m, para la Unidad de Análisis 2 (máximo: duna de deflación - mínimo: fondo cubeta de deflación); y 122,81 m, 122,17 m y 122,37 m, para la Unidad de Análisis 3. En esta

última, las transectas imaginarias no cruzan el brazo de la duna parabólica por encontrarse cultivado, lo que genera que el máximo coincida con una pequeña elevación, y el mínimo con un canal de drenaje, ambos dentro de la PACCE.

Posteriormente, a partir de los mapas de acumulación de flujo contruidos para cada Unidad de Análisis, se extrajo el valor de acumulación potencial de agua por escurrimiento superficial para cada uno de los sitios de muestreo. Para esto, se calculó el promedio entre el valor del píxel y sus 8 píxeles vecinos (Tabla N° 4.14.).

Tabla N° 4. 14.: Acumulación potencial de agua por escurrimiento (n° de píxeles que drenan a la unidad) para las unidades muestrales, expresado como promedio, máximo y mínimo para cada Unidad de Análisis.

	Unidades muestrales de la Unidad de Análisis 1	Unidades muestrales de la Unidad de Análisis 2	Unidades muestrales de la Unidad de Análisis 3	TOTAL
Promedio	3.054,25	10.826,97	66,40	4.188,54
Máximo	18.000	35.000	257	35.000
Mínimo	0	0	0	0

Como puede observarse, para todas las Unidades de Análisis el valor mínimo que puede tener una unidad de muestreo es 0, lo cual es esperable considerando la existencia de las dunas parabólicas y pequeñas elevaciones en la PACCE. Los valores máximos son variables entre Unidades de Análisis: para la 1 y 2, son particularmente elevados en aquellos sitios de muestreo que se ubican dentro de las cubetas de deflación; en la Unidad 3, el valor máximo es mucho menor que en las demás Unidades (257 píxeles vs 18.000 y 35.000 píxeles), y coincide con la ubicación de un pequeño canal de drenaje excavado en la PACCE. Para todas las Unidades de Análisis, se destaca la heterogeneidad que presentan unidades de muestreo muy cercanas espacialmente en cuanto a los valores de acumulación de flujo superficial (Figura N° 4.17.).

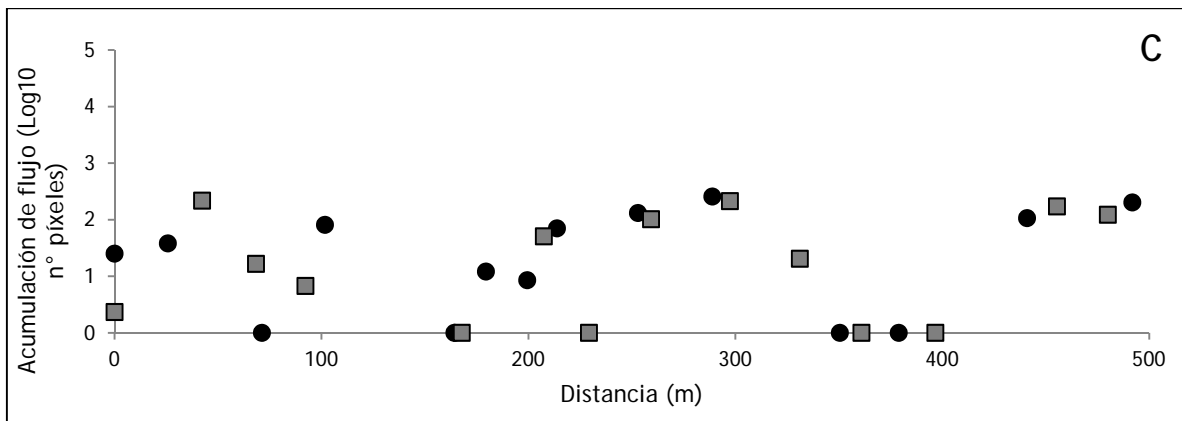
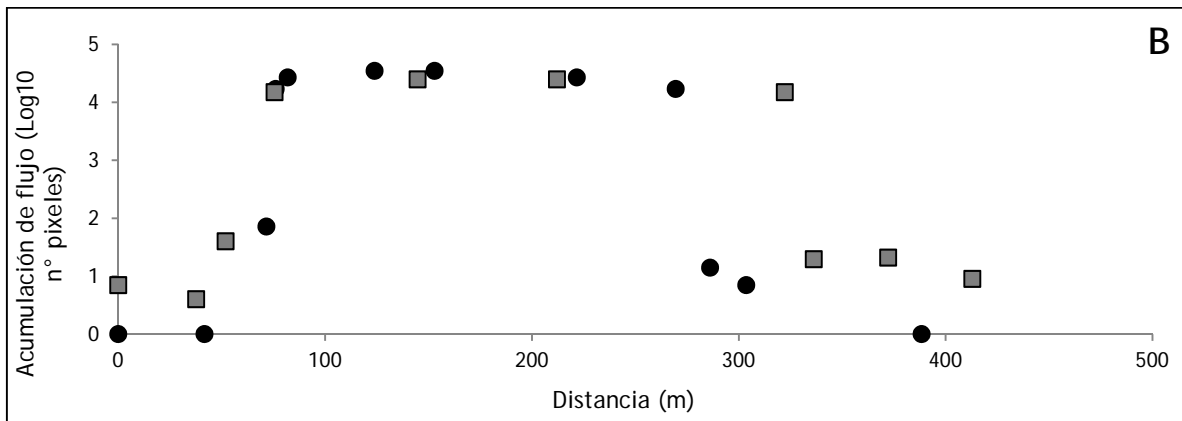
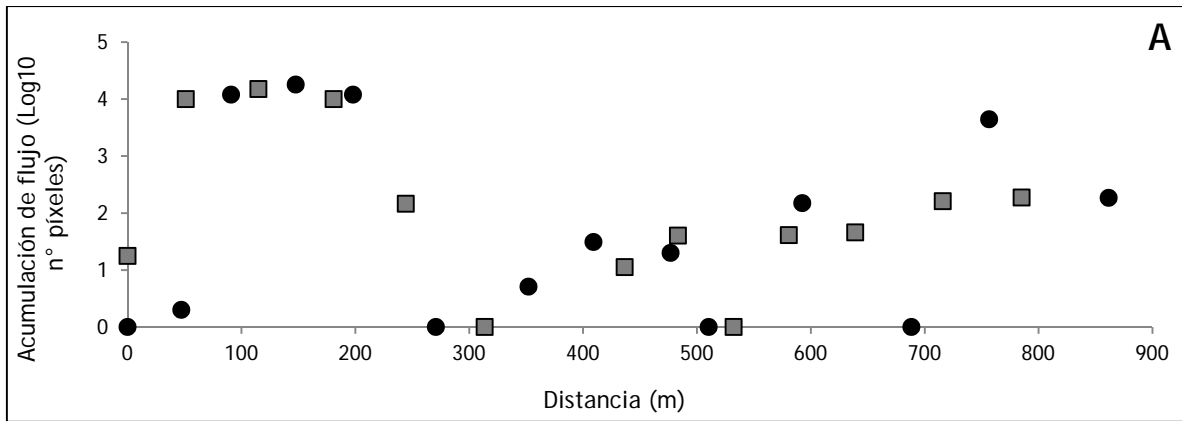


Figura N° 4. 17.: Variación espacial de la acumulación de agua por flujo superficial (expresado como  $\log_{10}$  N° de píxeles) para las unidades de muestreo ubicadas en A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. Cuadrados grises: transectas sudoeste. Círculos negros: transectas noreste.

#### 4.3.2. Suelos

Las mediciones de pH y CE en suspensión suelo:agua 1:2,5 para los primeros 20 cm tomados en cada unidad de muestreo, así como el porcentaje de suelo sin cobertura vegetal (calculado sobre una cuadrícula de muestreo de 4 m<sup>2</sup>), muestran la alta variabilidad presente en las unidades de muestreo analizadas (Tabla N° 4.15.).

Tabla N° 4. 15.: pH, CE y % de suelo descubierto para las unidades de muestreo, expresado como máximo, mínimo y promedio para cada Unidad de Análisis.

		Unidades muestrales de la Unidad de Análisis 1	Unidades muestrales de la Unidad de Análisis 2	Unidades muestrales de la Unidad de Análisis 3	TOTAL
pH	Prom	7,44	6,24	8,72	7,54
	Máx	10,18	8,17	10,38	10,38
	Mín	5,70	4,98	5,77	4,98
CE (µS/cm)	Prom	426,87	378,69	903,39	587,57
	Máx	1.730	1.037	2.035	2.035
	Mín	63,05	124,8	102,05	63,05
SUELO SIN COBERTURA (%)	Prom	6,3	1,6	14,54	8,48
	Máx	40	7	60	60
	Mín	0	0	0	0

Los datos obtenidos evidencian la alta variabilidad espacial y la gran heterogeneidad interna que presentan las unidades muestrales de cada Unidades de Análisis respecto a las variables consideradas (Figura N° 4.18.).

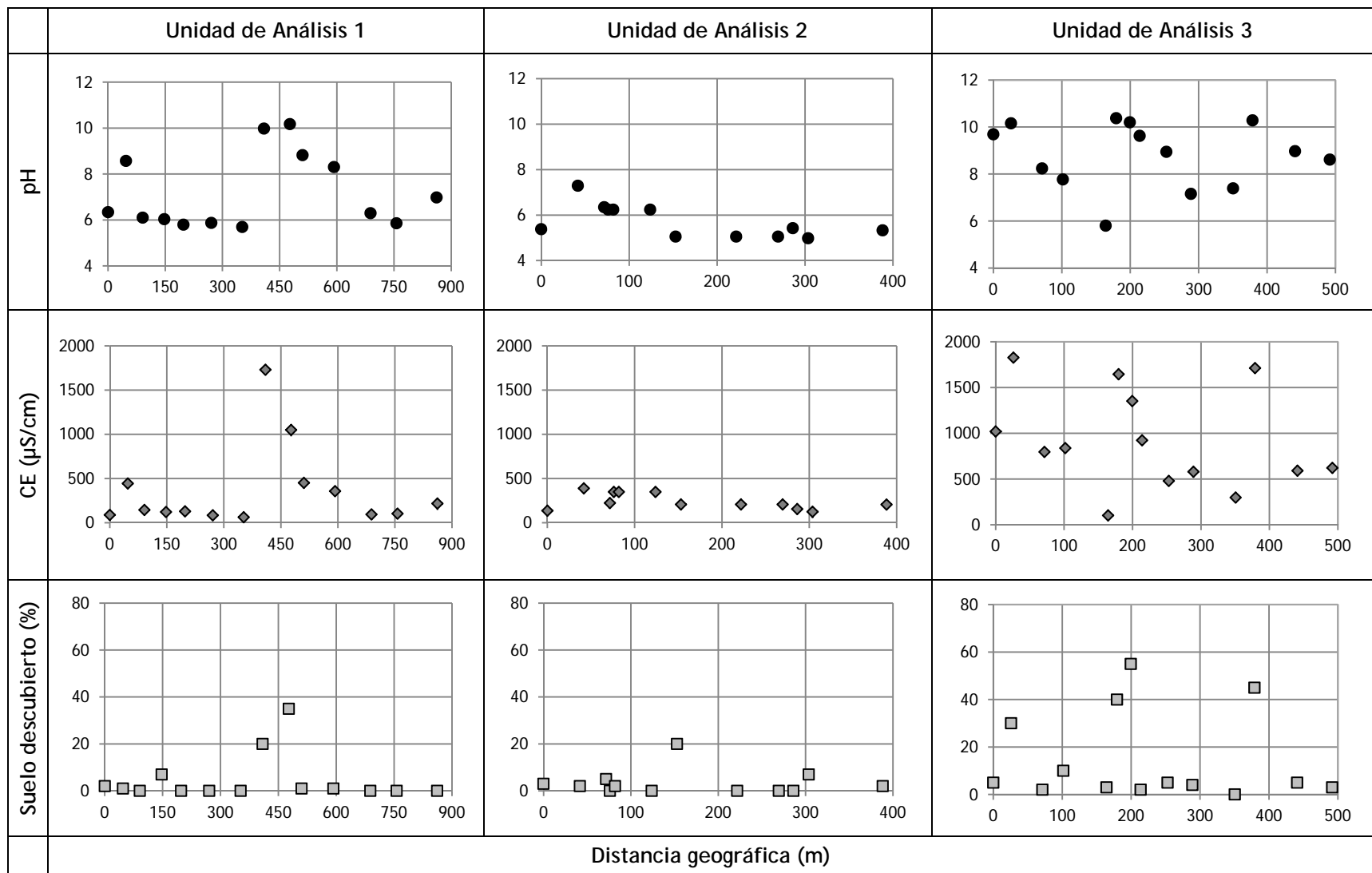


Figura N° 4. 18.: Variación espacial en los valores de pH, CE y suelo descubierto para las unidades muestrales de las transectas noreste de cada Unidad de Análisis.

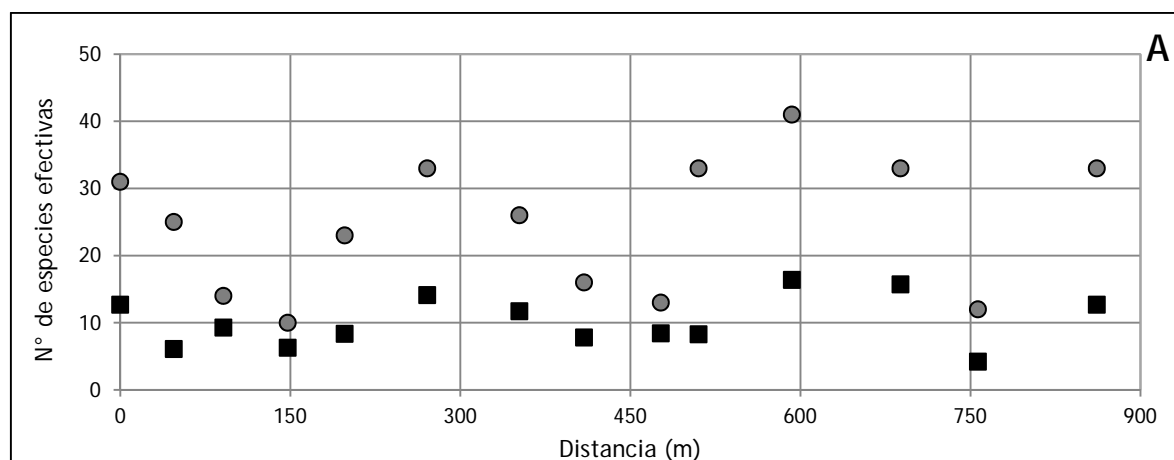


Los valores de pH oscilan entre 5 y 10 aproximadamente, siendo el promedio general superior a 7. Los máximos y mínimos son similares en las 3 Unidades de Análisis, con excepción del máximo en la Unidad 2 que solo llega a ser algo superior a 8. Con respecto a la CE, los valores mínimos son similares en las tres Unidades, mientras que los máximos difieren considerablemente, siendo la Unidad 3 la que presenta los valores más altos aunque nunca superan el límite para ser considerados suelos salinos (valores de CE superiores a 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El porcentaje de suelo descubierto es bajo en todas las unidades muestrales de la unidad 2, mientras que en la Unidad 3 el promedio y el máximo aumentan notablemente.

#### 4.3.3. Vegetación

A partir de los datos recabados para cada unidad muestral, se construyó la matriz definitiva de sitios (casos) por especies (variables), quedando conformada la misma por 77 filas y 171 columnas. De ella se desprende que las especies con mayor constancia son: *Lolium multiflorum* Lam. (79,22 %), *Cynodon dactylon* (L.) Pers. var. *dactylon* (72,73 %), *Sisyrinchium platense* I.M. Johnst. (51,95 %), *Carex bonariensis* Desf. ex Poir. var. *bonariensis* (51,95 %) y *Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd. (50,65 %). Además, del total de especies encontradas, 60 (es decir, el 35,09 %) tienen una constancia inferior al 5 % de las unidades muestrales.

Los valores de diversidad alfa calculados para cada unidad de muestreo son muy variables (Figura N° 4.19.). La Unidad de Análisis 1 es la que presenta unidades de muestreo con valores máximos más altos, tanto para la riqueza específica como para el índice de diversidad de Shannon-Wiener. Las unidades de muestreo de la Unidad N°2 presentan los valores más bajos de diversidad alfa. Los gráficos permiten apreciar la gran variabilidad espacial que presenta la diversidad de especies.



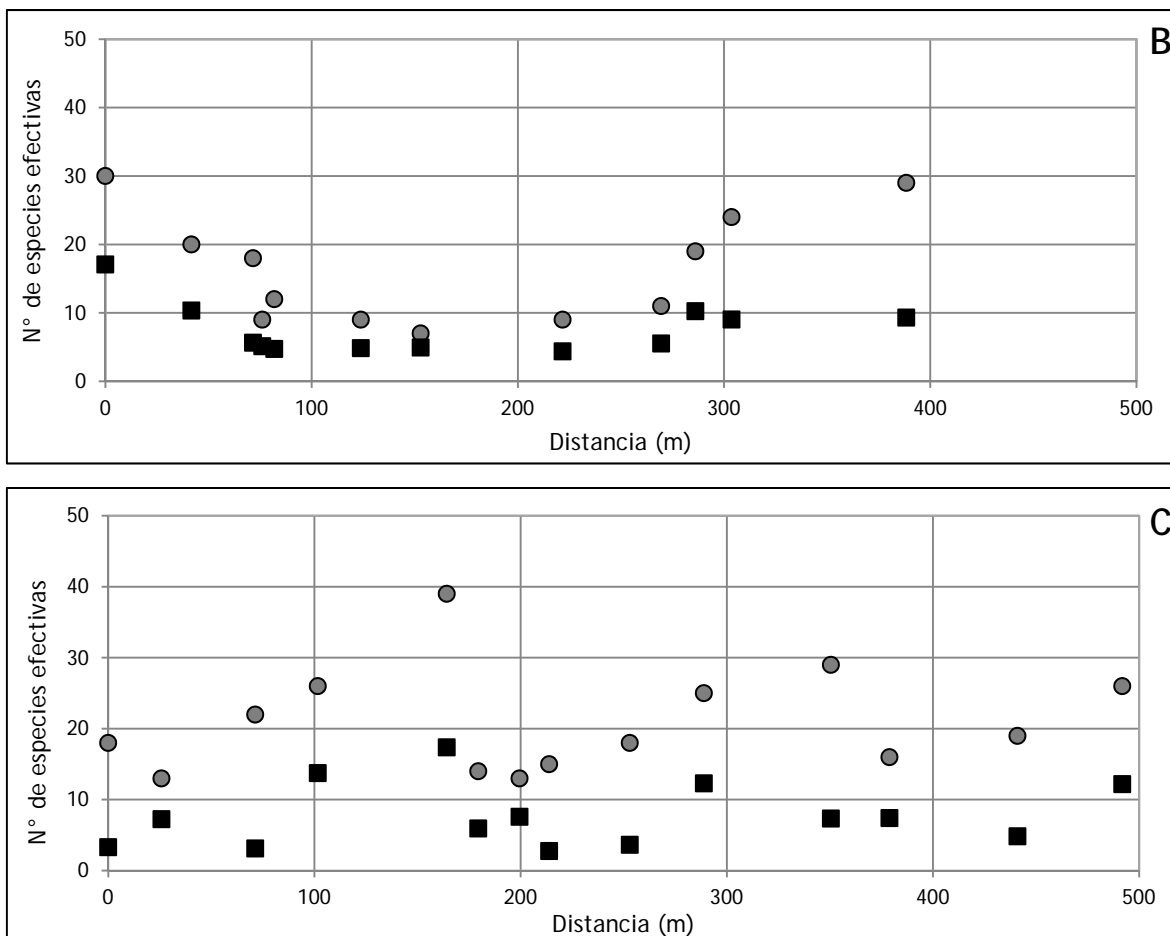


Figura N° 4. 19.: Variación espacial en los índices riqueza y Shannon-Wiener para las unidades muestrales de las transectas noreste de cada Unidad de Análisis. A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. Círculos grises: Riqueza. Cuadrados negros: Diversidad de Shannon-Wiener.

Para llevar adelante el análisis de la heterogeneidad de la vegetación en el área de estudio, en primer lugar se eliminaron de la matriz primaria 60 de las 171 especies, es decir, aquellas registradas en menos del 5 % de las unidades muestrales. La matriz sobre la cual se trabaja, entonces, tiene 77 unidades de muestreo x 111 especies.

A partir de la matriz anterior, se construyó la matriz secundaria para las unidades muestrales utilizando el coeficiente de similitud de Jaccard. Posteriormente, se realizó una clasificación jerárquica con el algoritmo *Single Linkage*. Aplicando dicho método se obtuvieron las últimas 17 unidades muestrales en encadenarse, las cuales a partir de esto son consideradas unidades muestrales intermedias (Figura N° 4. 20.).

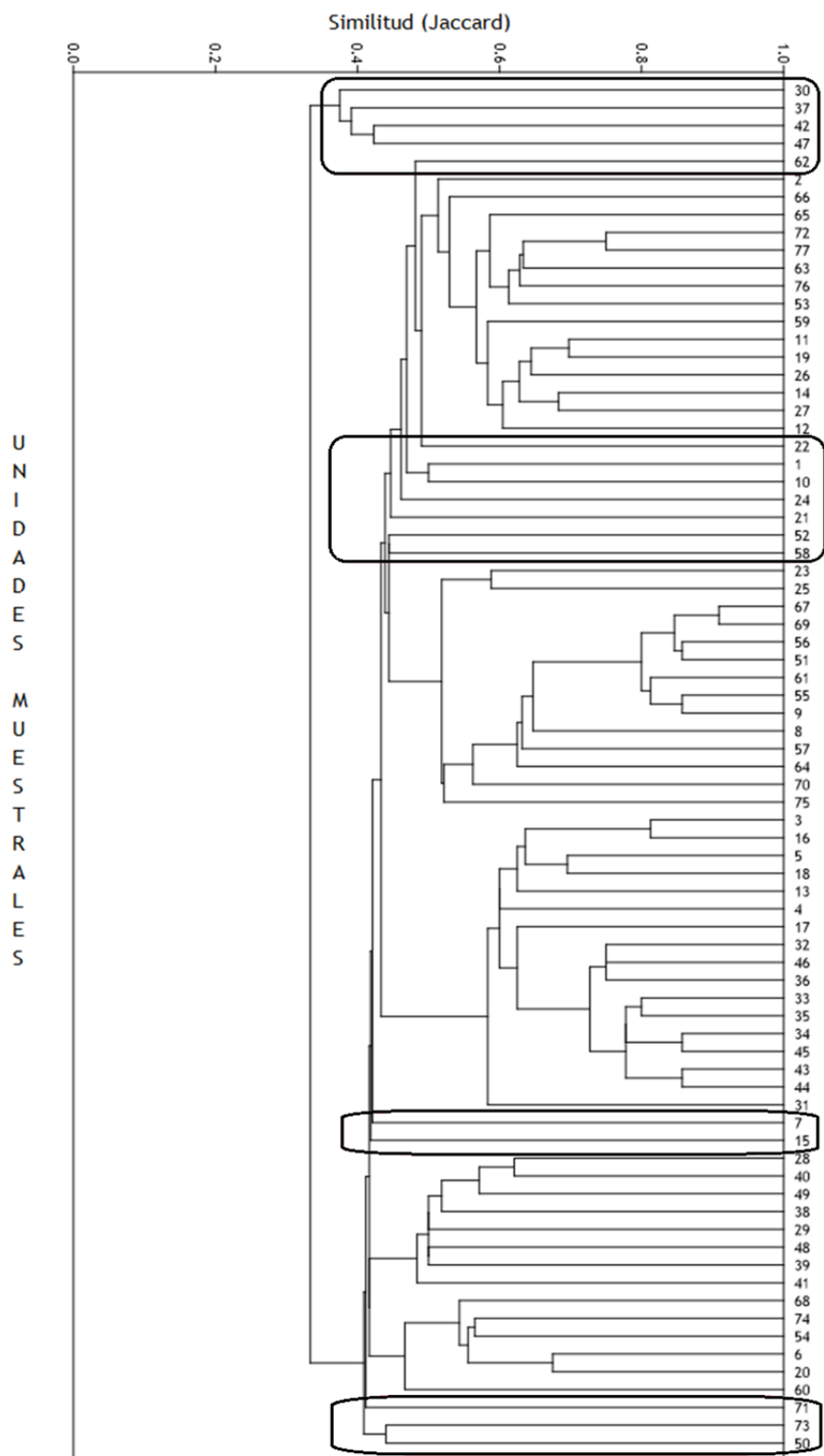


Figura N° 4. 20.: Clasificación jerárquica del total de las unidades muestrales (77). Medida de distancia: coeficiente de similitud de Jaccard. Algoritmo de fusión: *Single Linkage*. Óvalos negros: 17 unidades muestrales que se encadenan en los últimos pasos.

Posteriormente, a partir de la aplicación del algoritmo UPGMA sobre la matriz secundaria con 60 unidades muestrales (excluyendo las consideradas intermedias), se obtuvieron 4 grupos principales (Figura N° 4.21.).

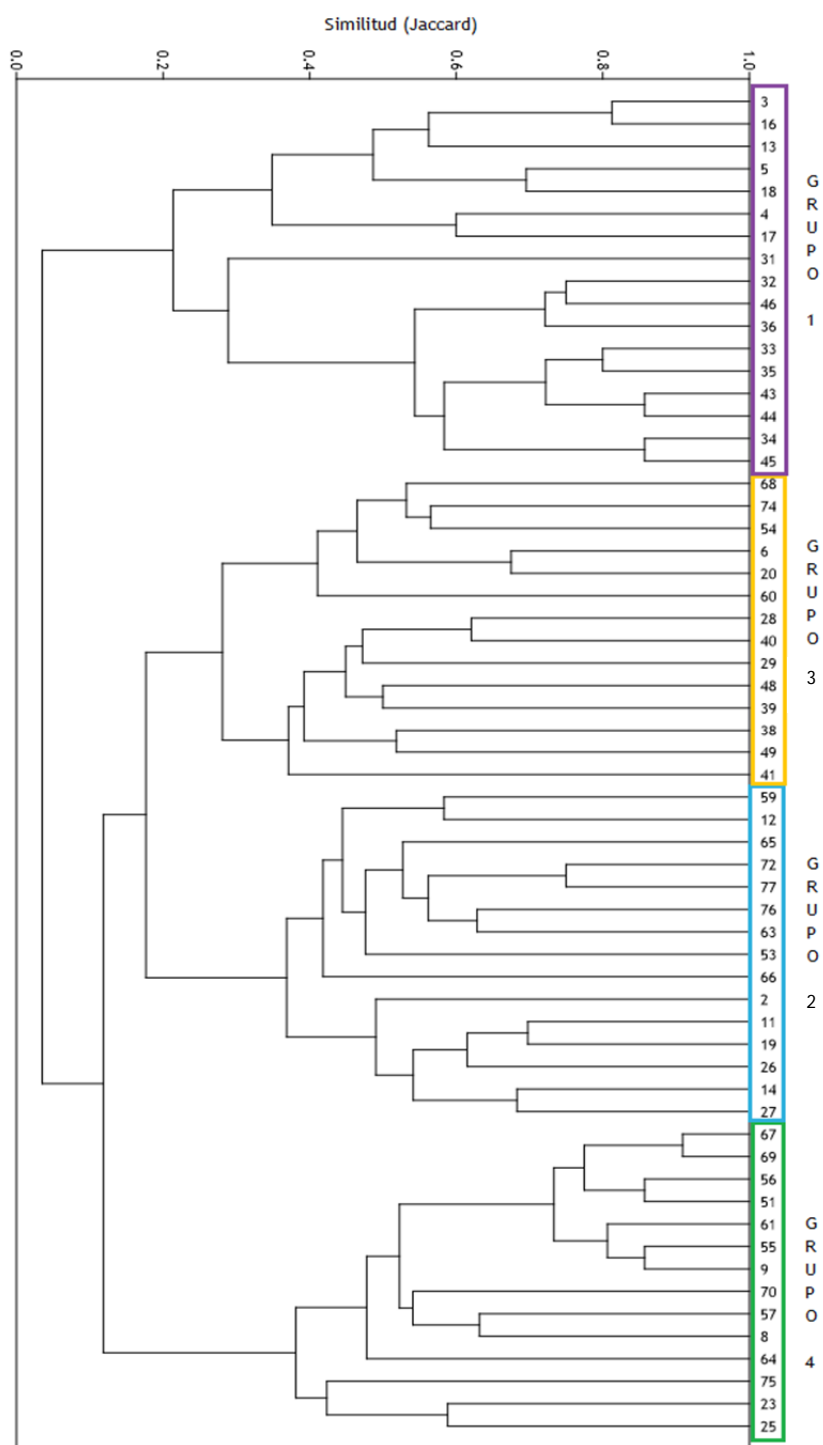


Figura N° 4. 21.: Clasificación jerárquica de unidades muestrales (60), sin incluir las consideradas intermedias. Medida de distancia: similitud de Jaccard - Algoritmo de fusión: UPGMA.

Como puede observarse, en el dendrograma anterior se reconocen cuatro grupos principales. Para analizar los mismos, en primer lugar, se los compara con las grandes unidades de vegetación descritas por Perelman *et al.*, (2001) para la totalidad de la Pampa Deprimida. Para esto, se coteja la constancia de las especies encontradas en la presente investigación para cada uno de los grupos con la informada para estas mismas especies en las grandes unidades de vegetación de la Pampa Deprimida, obteniendo los siguientes resultados:

- En las unidades muestrales correspondientes al **grupo 1** se destaca la constancia de especies de los grupos florísticos X y XII, y en menor medida XI, XIV y XV, quedando así incluidas dentro de la unidad de vegetación denominada **praderas húmedas**. Según los autores, las mismas se ubican en tierras bajas extendidas, con el agua subterránea cerca de la superficie y sujetas a inundaciones. Sus suelos varían entre ácidos en todo el perfil hasta ácidos en superficie y alcalinos en los horizontes más profundos (Argiacuoles, Argialboles argiácuicos).
- Las unidades muestrales del **grupo 2** contienen principalmente especies de los grupos florísticos IX, X y, en menor proporción, de los grupos VI, VIII y XI, por lo cual son consideradas **praderas húmedas de mesófitas**. Estas unidades de vegetación se ubican en tierras planas, en posiciones topográficas intermedias. Sus suelos presentan horizontes A ácidos y no salinos, y horizontes B salinos y fuertemente alcalinos (Natracuoles con horizonte Btnátrico, Natralboles).
- La frecuencia de las especies de los grupos florísticos IV, V, VI, VIII y IX en las unidades muestrales del **grupo 3** hace posible asignarlo a la unidad de vegetación denominada **pradera de mesófitas**. Ubicadas en terrenos positivos y convexos, presentan suelos profundos y bien drenados, ácidos, no salinos y poligenéticos (Argiudoles típicos y Hapludoles taptoárgicos poligenéticos).
- Dentro de las unidades muestrales del **grupo 4** se desatacan los grupos florísticos XVI y XVII. Se corresponde con la gran unidad de vegetación llamada **estepa de halófitas**. Las distintas variantes de esta unidad se ubican en pequeñas depresiones de áreas planas, o en anillos rodeando áreas húmedas. Presentan suelos poco profundos, alcalinos y con alto contenido de sales en los horizontes superficiales (Natracualfes mólicos).

La diversidad alfa promedio, máximo y mínimo para los cuatro grupos de unidades muestrales evidencia que las unidades muestrales correspondientes a los grupos 2 y 3 (praderas húmedas de mesófitas y praderas de mesófitas, respectivamente) son los que presentan mayor riqueza específica y valores más elevados de diversidad de Shannon-Wiener, mientras que las praderas húmedas son las menos diversas (Tabla N° 4.16.).

Tabla N° 4. 16.: Índices de diversidad alfa promedio, máximo y mínimo para las unidades muestrales incluidas en los grupos 1 a 4, expresados como número de especies efectivas.

		Unidades muestrales del Grupo 1	Unidades muestrales del Grupo 2	Unidades muestrales del Grupo 3	Unidades muestrales del Grupo 4
Riqueza específica	Máx.	23	41	40	33
	Mín.	6	21	20	11
	Prom.	10,88	29,60	30,42	16,57
Índice de Shannon-Wiener	Máx.	9,56	18,73	17,38	12,49
	Mín.	2,85	4,89	6,69	2,76
	Prom.	5,63	12,12	11,42	7,21

Luego, los grupos descriptos se sometieron a un Análisis de Especies Indicadoras (IndVal), previa selección de las especies candidatas a ser indicadoras para cada grupo ( $RF_{ij} > 0,5$ ) (Tabla N° 4.17.).

Tabla N° 4. 17.: Frecuencias Relativas en cada grupo de unidades muestrales para las especies candidatas a ser indicadoras. En negrita se indican aquellas con frecuencia relativa superior a 0,5.

		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Especies Candidatas (n°)		8	22	19	10
1	<i>Ricciocarpus natans</i>	0,53	0,00	0,00	0,00
2	<i>Azolla filiculoides</i>	0,65	0,00	0,00	0,00
3	<i>Marsilea ancylopoda</i>	0,35	0,60	0,00	0,00
4	<i>Carex bonariensis</i>	0,12	1,00	0,86	0,07
5	<i>Cyperus reflexus</i>	0,06	0,93	0,29	0,29
6	<i>Eleocharis viridans</i>	0,82	0,93	0,07	0,00
7	<i>Cypella herbertii</i>	0,00	0,93	0,57	0,07
8	<i>Herbertia lahue</i>	0,00	0,07	0,64	0,00
9	<i>Sisyrinchium platense</i>	0,00	1,00	0,36	0,43
10	<i>Juncus imbrincatus</i>	0,00	0,53	0,71	0,07
11	<i>Juncus pallescens</i>	0,00	0,60	0,00	0,00
12	<i>Bromus catharticus</i>	0,00	0,00	0,57	0,00
13	<i>Bromus hordeaceus</i>	0,00	0,13	0,79	0,14
14	<i>Cynodon dactylon</i>	0,00	1,00	0,93	0,93
15	<i>Distichlis scoparia</i>	0,00	0,00	0,00	1,00
16	<i>Distichlis spicata</i>	0,00	0,20	0,00	1,00
17	<i>Glyceria multiflora</i>	0,76	0,00	0,00	0,00
18	<i>Hordeum pusillum</i>	0,00	0,33	0,07	1,00

19	<i>Lolium multiflorum</i>	0,12	1,00	1,00	1,00
20	<i>Nassella formicarum</i>	0,12	0,80	0,00	0,00
21	<i>Parapholis incurva</i>	0,00	0,00	0,00	0,79
22	<i>Paspalum dilatatum</i>	0,00	0,40	0,93	0,07
23	<i>Paspalum quadrifarium</i>	0,00	0,40	0,71	0,07
24	<i>Poa pratensis</i>	0,00	0,73	0,86	0,14
25	<i>Polypogon elongatus</i>	0,00	0,60	0,00	0,29
26	<i>Cyclosporum leptophyllum</i>	0,00	0,00	0,57	0,00
27	<i>Eryngium ebracteatum</i>	0,24	0,80	0,14	0,00
28	<i>Eryngium echinatum</i>	0,06	0,53	0,07	0,14
29	<i>Acmella decumbens</i>	0,00	0,73	0,00	0,36
30	<i>Carduus acanthoides</i>	0,00	0,00	0,86	0,00
31	<i>Cirsium vulgare</i>	0,00	0,00	0,93	0,00
32	<i>Conyza bonariensis</i>	0,00	0,00	0,64	0,00
33	<i>Hypochaeris petiolaris</i>	0,00	0,00	0,29	0,79
34	<i>Leontodon taraxacoides</i>	0,00	0,93	0,14	0,14
35	<i>Panphalea bupleurifolia</i>	0,12	0,73	0,00	0,00
36	<i>Lepidium spicatum</i>	0,00	0,13	0,07	1,00
37	<i>Spergula ramosa</i>	0,00	0,13	0,00	0,93
38	<i>Dichondra microcalyx</i>	0,00	0,33	0,64	0,07
39	<i>Lotus tenuis</i>	0,12	0,93	0,57	0,29
40	<i>Medicago lupulina</i>	0,00	0,00	0,71	0,00
41	<i>Mentha pulegium</i>	0,47	0,67	0,00	0,00
42	<i>Ludwigia peploides</i>	0,88	0,13	0,00	0,00
43	<i>Platago myosuros</i>	0,00	0,07	0,29	1,00
44	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	0,59	0,00	0,00	0,00
45	<i>Rumex crispus</i>	0,18	0,87	0,07	0,07
46	<i>Ranunculus apiifolius</i>	0,53	0,00	0,00	0,00
47	<i>Solanum glaucophyllum</i>	0,71	0,20	0,00	0,00
48	<i>Phyla nodiflora</i>	0,06	0,80	0,57	0,07

Una vez obtenidas las especies candidatas a ser indicadoras para cada grupo, se generaron combinaciones de hasta 3 especies, en lugar de solo evaluarlas individualmente. Este paso se realiza porque se considera que cuando dos o más especies son encontradas juntas, conllevan mayor información ecológica que las individuales. Debido a que algunas especies presentan valores de frecuencias relativas mayores a 0,5 en más de un grupo (Tabla N° 4.17.), la evaluación de todas las combinaciones posibles para cada grupo tendría como consecuencia la repetición de algunas de estas en dos o más grupos. Para evitarlo, solo se evaluaron aquellas especies

o combinaciones que tuvieran valores de frecuencias y abundancias relativas mayores a 0,5 y valores de IndVal mayores a 50 %, es decir, con alto valor indicador.

De esta manera, por ejemplo, a pesar de haber seleccionado a las especies *Carex bonariensis* y *Cypella herbertii* como candidatas para los grupos 2 y 3, la combinación "*Carex bonariensis* + *Cypella herbertii*" solo es evaluada para el grupo 2, ya que en el mismo presenta 0,93, 0,66 y 62,2 de frecuencia relativa, abundancia relativa e IndVal respectivamente, mientras que para el grupo 3 exhibe 0,5, 0,33 y 16,6. Otros ejemplos de similares características se detallan en la tabla N° 4.18. Como puede verse allí, aunque ciertas especies fueron seleccionadas como candidatas en un primer paso a partir de su frecuencia relativa, luego no fueron consideradas como indicadoras por tener valores de abundancia relativa inferiores a 0,5 o bien, no alcanzar el 50 % del valor indicador máximo. Lo mismo ocurre con las combinaciones generadas: en el ejemplo, solo "*Carex bonariensis* + *Cypella herbertii*" y "*Carex bonariensis* + *Cypella herbertii* + *Lotus tenuis*" tienen valor indicador superior a 50 % en el grupo 2, por lo tanto, son las únicas que se consideran en los pasos posteriores.

Tabla N° 4. 18.: Frecuencias relativas (RFij), abundancias relativas (RAij) y % de valor indicador (IndValij) para diferentes combinaciones de especies en los grupos 2, 3 y 4, a modo de ejemplo. En negrita se indican los valores superiores a 0,5. *Carex bonariensis* (car.bon.); *Cynodon dactylon* (cyn.dac.); *Cypella herbertii* (cyp.her.); *Juncus imbricatus* (jun.imb); *Lolium multiflorum* (lol.mul); *Lotus tenuis* (lot.ten.); *Phyla nodiflora* (phy.nod.); *Poa pratensis* (poa.pra.).

Combinación			RF			RA			IndVal			Significativa para el grupo...
sp 1	sp 2	sp 3	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
car.bon.	---	---	1,00	0,86	0,07	0,50	0,40	0,03	50,00	34,29	0,24	2
cyn.dac.	---	---	1,00	0,93	0,93	0,37	0,32	0,32	36,59	29,44	29,44	---
cyp.her.	---	---	0,93	0,57	0,07	0,61	0,35	0,04	56,81	19,88	0,31	2
jun.imb.	---	---	0,53	0,71	0,07	0,42	0,53	0,05	22,46	37,59	0,38	---
lol.mul.	---	---	1,00	1,00	1,00	0,33	0,31	0,31	33,33	31,11	31,11	---
lot.ten.	---	---	0,93	0,57	0,29	0,50	0,29	0,14	46,67	16,33	4,08	---
phy.nod.	---	---	0,80	0,57	0,07	0,55	0,36	0,05	43,64	20,78	0,32	---
poa.pra.	---	---	0,73	0,86	0,14	0,44	0,48	0,08	32,27	41,14	1,14	---
car.bon.	cyp.her.	---	0,93	0,50	0,00	0,67	0,33	0,00	62,22	16,67	0,00	2
cyn.dac.	lol.mul.	---	1,00	0,93	0,93	0,37	0,32	0,32	36,59	29,44	29,44	---
lot.ten.	poa.pra.	---	0,73	0,50	0,07	0,58	0,37	0,05	42,46	18,42	0,38	---
cyp.her.	jun.imb.	phy.nod.	0,47	0,14	0,00	0,78	0,22	0,00	36,30	3,17	0,00	---
car.bon.	cyp.her.	jun.imb.	0,53	0,71	0,07	0,42	0,53	0,05	22,46	37,59	0,38	---
car.bon.	cyp.her.	poa.pra.	0,67	0,36	0,00	0,67	0,33	0,00	44,44	11,90	0,00	---
car.bon.	cyp.her.	lot.ten.	0,87	0,36	0,00	0,72	0,28	0,00	62,59	9,92	0,00	2
car.bon.	jun.imb.	phy.nod.	0,47	0,29	0,00	0,64	0,36	0,00	29,70	10,39	0,00	---



A partir, entonces, de la aplicación del método a los 4 grupos de unidades muestrales conformados se obtuvieron las especies y combinaciones de éstas con valor indicador significativo (superior a 50 %), y se calculó el valor máximo posible para cada caso analizado (sumatoria de los IndVal obtenidos) (Tabla N° 4.19.). Detalles de las especies y combinaciones evaluadas en el Anexo N° 2.

Tabla N° 4. 19.: Resultados obtenidos con la aplicación del método IndVal a los grupos de unidades muestrales identificados a partir de datos florísticos.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
N° Especies Totales	37	85	103	53
N° Especies Candidatas	8	22	19	10
% Especies Candidatas	21,62	25,88	18,45	18,87
N° Combinaciones Posibles	92	1.792	1.159	175
N° Combinaciones Evaluadas	24	826	292	172
% Combinaciones Evaluadas	26,09	46,09	25,19	98,29
Sumatoria IndVal	1.396,79	51.736,40	17.143,24	13.957,12
Promedio IndVal	58,19	62,63	58,7	81,14

El porcentaje de especies candidatas a ser indicadoras en cada uno de los 4 grupos es similar (alrededor del 20 % sobre el total de especies registradas); por el contrario, el porcentaje de especies y combinaciones evaluadas difiere entre los grupos, así como también el promedio de IndVal para cada combinación: particularmente, se destaca el grupo 4, donde se consideró el 98 % del total posible y se obtuvo un promedio de valor indicador de más del 80 % para las 172 combinaciones evaluadas.

Posteriormente, y con la finalidad de obtener un valor de IndVal para cada unidad de muestro, se identificaron las especies y combinaciones indicadoras de cada grupo evaluado en las 60 unidades muestrales utilizadas en el análisis y asignadas a un grupo determinado. Se sumaron los valores indicadores de las mismas y finalmente se calculó el porcentaje de dicho valor sobre el total posible (sumatoria de todos los IndVal obtenidos para el grupo) (Figura N° 4.22.).

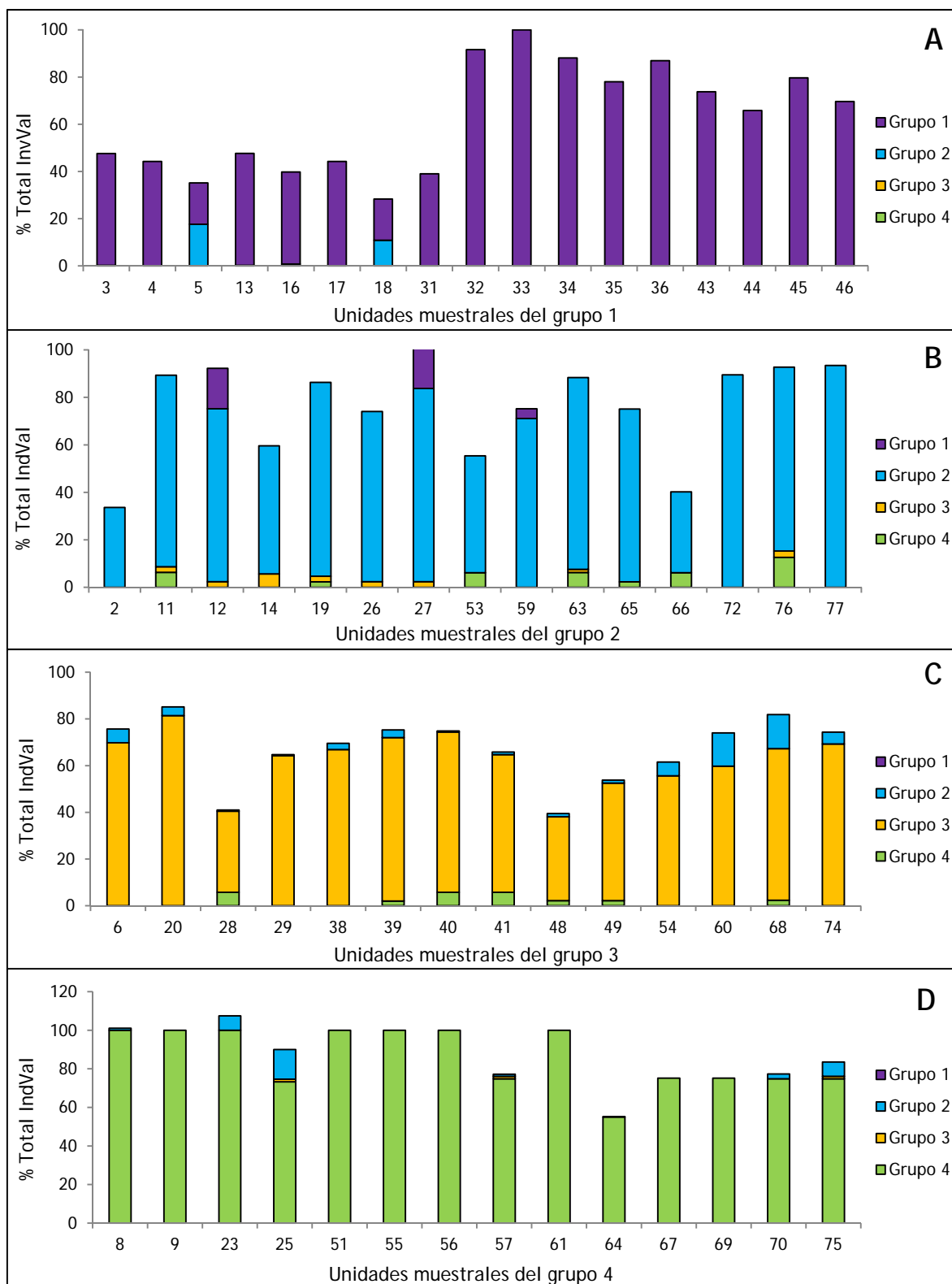


Figura N° 4. 22.: Porcentaje de IndVal (respecto al máximo posible) para cada una de las unidades muestrales de A. Grupo 1. B. Grupo 2. C. Grupo 3. D. Grupo 4.

Como puede observarse, las unidades de muestreo asignadas al grupo 1 solo tienen combinaciones correspondientes a su tipo de comunidad, con excepción de las unidades 5 y 18, donde también se encuentran presentes combinaciones del grupo 2. Del total de casos, 8 no alcanzan el 50 % de la sumatoria posible para su grupo, de las cuales 7 se encuentran ubicadas en la cubeta de deflación de la Unidad de Análisis 1. Todas las unidades muestrales que superan el 50 % de la sumatoria corresponden a sitios de la Unidad de Análisis 2, cuya cubeta de deflación es de mayor extensión, y donde se encuentra el sitio 33 que es el único con el 100 %.

Las unidades de muestreo asignadas a los grupos 2 y 3 nunca alcanzan el 100 % de la sumatoria posible para el grupo que les corresponde. A pesar de esto, solo 2 unidades muestrales en cada grupo no superan el 50 % del valor posible: las unidades 2 y 66 para el grupo 2, y las unidades 28 y 48 para el grupo 3 (ambas en la Unidad de Análisis 2). Específicamente en el grupo 3, todas las unidades de muestro clasificadas tienen también combinaciones pertenecientes al grupo 2 en mayor o menor medida, y la mitad tiene combinaciones del grupo 4. En cambio, el grupo 2 presenta 5 unidades muestrales que solo tienen combinaciones de su grupo, mientras que el resto también presenta combinaciones significativas para otros grupos.

Por último, las unidades muestrales correspondientes al grupo 4 tienen en general gran porcentaje del total posible: la mitad de ellas alcanza el 100 % y el resto nunca es inferior al 75 %, con excepción del sitio N°64 que, de todas formas, es superior al 50 %. En 8 de los casos analizados no se encuentran combinaciones de ningún otro grupo; en el resto, la proporción de combinaciones significativas para otros grupos es muy baja, siempre correspondiente al grupo 2 y al 3 en menor medida. En este grupo hay unidades muestrales (8 y 23) que presentan el total de especies y combinaciones significativas para su grupo y, además, un pequeño porcentaje de combinaciones del grupo 2.

Las combinaciones consideradas significativas para el grupo 2 son las únicas que se encuentran presentes en todos los demás grupos, ya sea en unos pocos casos como en los grupos 1 y 4, o en todos como en el grupo 3.

Es interesante destacar que lo anterior tiene relación con la similitud entre unidades muestrales pertenecientes a un mismo grupo, cuyos valores promedio para el índice de Jaccard son 0,36; 0,43; 0,35; y 0,52 para los grupos 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Finalmente, las combinaciones indicadoras se utilizaron para analizar las unidades muestrales consideradas intermedias. Para esto, se buscaron las especies candidatas para los diferentes grupos en cada uno de los sitios intermedios, se identificaron las combinaciones indicadoras, se sumaron los IndVal para cada grupo y se expresaron como porcentaje del total posible (Figura N° 4.23.).

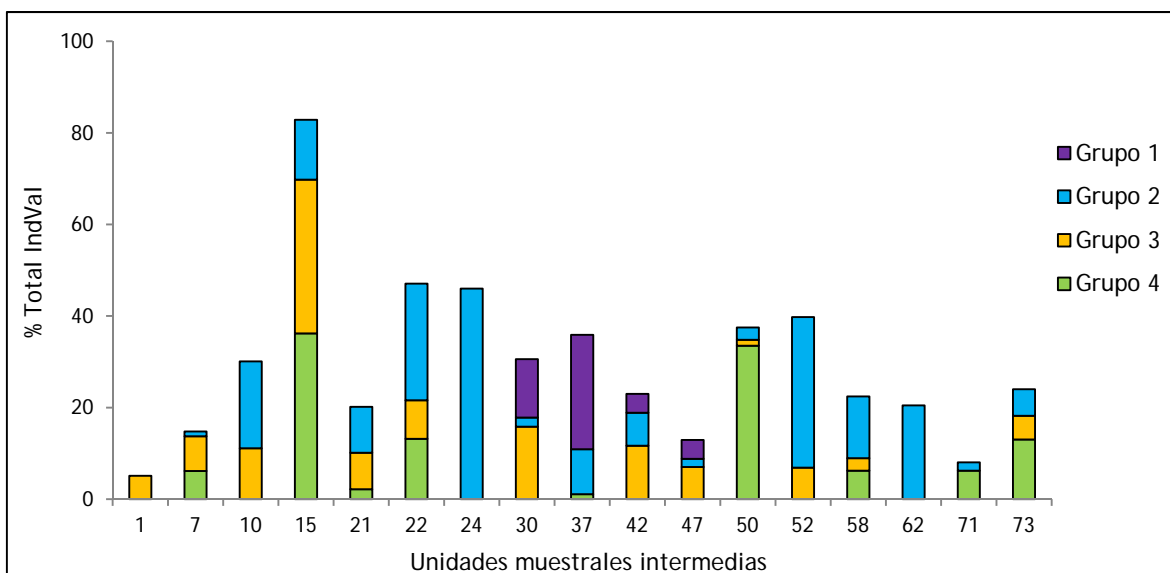


Figura N° 4. 23.: Porcentajes del valor indicador para cada grupo en las unidades muestrales consideradas intermedias.

La figura anterior permite apreciar cómo se comportan las unidades intermedias en cuanto a la representación de las especies y combinaciones indicadoras para cada grupo.

Allí se observa que todas las unidades de muestreo consideradas intermedias presentan combinaciones significativas para más de un grupo, con la excepción de la 1, 24 y 62, lo cual evidencia la condición de intermedias que presentan estas unidades. Tal como se observó (Figura N° 4.22.), nuevamente las combinaciones consideradas indicadoras para el grupo 2 se encuentran presentes en prácticamente todos los sitios intermedios, con excepción de la unidad muestral N° 1.

#### 4.3.4. Ubicación de unidades muestrales en el espacio florístico, geográfico y ambiental.

Con el objetivo de analizar la variación conjunta entre las gradaciones geomorfológicas y ecológicas, se analizó el cambio en la estructura de la comunidad vegetal presente en las unidades de muestreo a lo largo del gradiente geográfico y ambiental. Específicamente, se comparó la matriz de distancias florísticas entre unidades muestrales con las matrices de distancias espaciales y ambientales (Datos completos en Anexo N° 3).

La matriz de distancias florísticas, calculada mediante el complemento de la similitud de Jaccard, fue utilizada para graficar las unidades muestrales sobre las dos primeras dimensiones del NM-MDS (Figura N° 4.24.). La mejor configuración se alcanza luego de 10 iteraciones, dando un estrés final de 14,09.

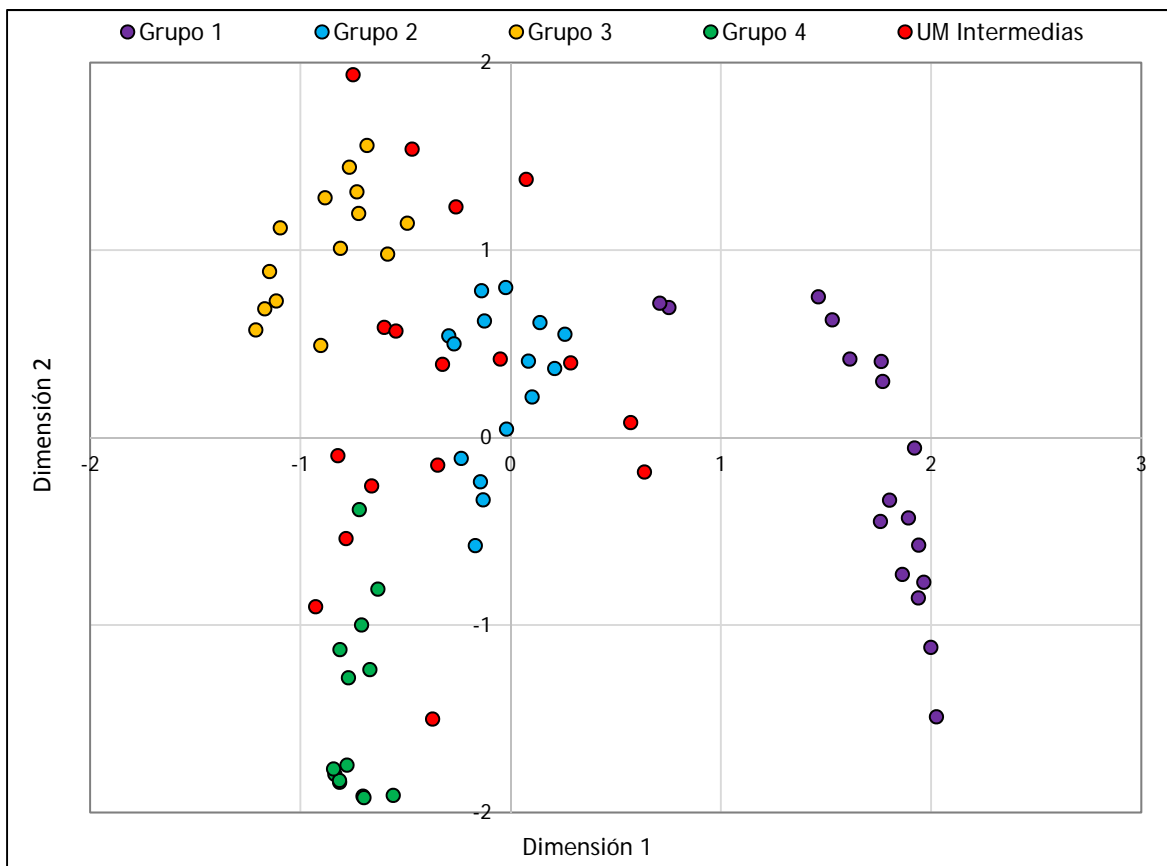


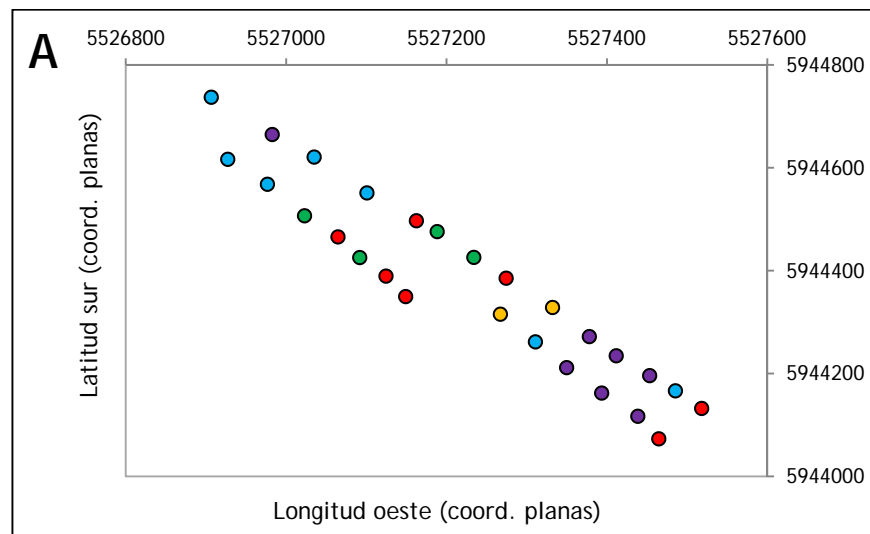
Figura N° 4. 24.: Unidades muestrales representadas sobre las dos primeras dimensiones del NM-MDS aplicado sobre la matriz de distancias florísticas, y clasificadas según los grupos de unidades de muestreo conformados previamente. Grupo 1 (violeta); Grupo 2 (celeste); Grupo 3 (amarillo); Grupo 4 (verde); Unidades Intermedias (rojo).

La discriminación de las unidades muestrales representadas en la figura anterior, a partir del grupo al que fueron asignadas con métodos de clasificación, permite observar cómo se disponen dichos grupos en el espacio florístico. Al respecto es interesante destacar que:

- Si se unen los puntos de las unidades asignadas a cada grupo, es decir, si se forman polígonos de manera tal que todos los puntos de un mismo color queden incluidos, dichos polígonos no se superponen (excluyendo a las unidades intermedias - rojo). Esto evidencia la robustez de los grupos formados.
- Gran parte de las unidades intermedias se encuentran cerca del origen del gráfico, lo que refuerza la idea de que son intermedias y no *outliers*.
- La disposición de los grupos de unidades muestrales proyectadas sobre las dimensiones 1 y 2 permite asociarlas a gradientes ambientales:

- Sobre la dimensión 1, de izquierda a derecha, se ubican primero los grupos 3 y 4 (praderas de mesófitas y estepas de halófitas, respectivamente), luego el grupo 2 (pradera húmedas de mesófitas) y finalmente el 1 (pradera de hidrófitas), lo que reflejaría el gradiente de humedad.
- Sobre la dimensión 2, de arriba hacia abajo, se disponen el grupo 3, los grupos 1 y 2, y finalmente el 4. Esto se asociaría al gradiente de alcalinidad del suelo, por representar el grupo 4 a las estepas de halófitas y el 3 a las praderas de mesófitas que suelen encontrarse en sitios neutros a ácidos, por lo menos en superficie.

Por otro lado, se construyeron 3 matrices de distancias geográficas, una para cada Unidad de Análisis. Así, las matrices de distancias espaciales para las Unidades de Análisis 1, 2 y 3 comparan de a pares 27, 22 y 28 unidades muestrales, respectivamente (Figura N° 4.25.).



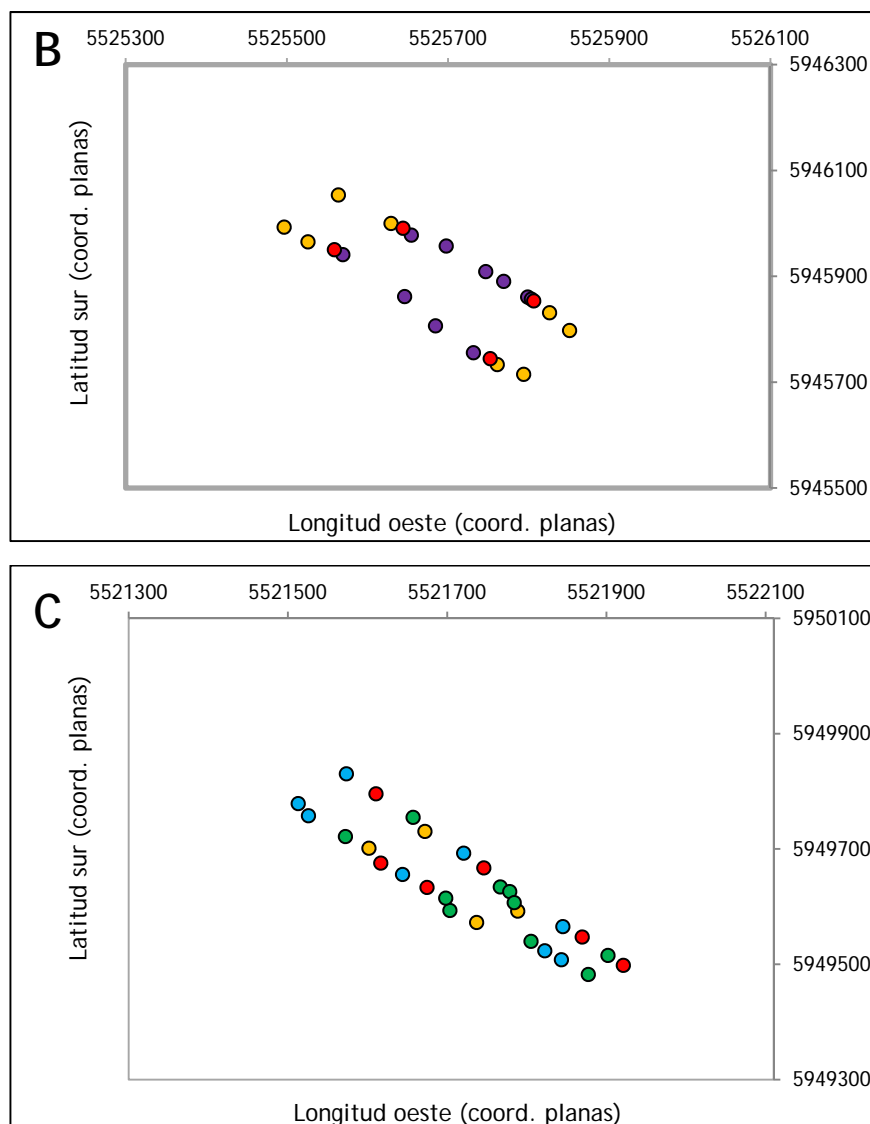


Figura N° 4. 25.: Unidades muestrales representadas a partir de sus distancias geográficas (m) y clasificadas según los grupos de unidades de muestreo conformados previamente. A. Unidad de Análisis 1. B. Unidad de Análisis 2. C. Unidad de Análisis 3. Grupo 1 (violeta); Grupo 2 (celeste); Grupo 3 (amarillo); Grupo 4 (verde); Unidades Intermedias (rojo).

El espacio ambiental donde se ubican las unidades de muestreo se construyó a partir de la realización de un Análisis de Componentes Principales (ACP) considerando las siguientes variables medidas en cada sitio: pH del suelo (pH), CE del suelo (CE), porcentaje de suelo sin cobertura vegetal (% SD), altura topográfica (Z) y acumulación de agua por escurrimiento superficial (FlowAcc).

Las primeras tres variables mencionadas (pH, CE y % SD) se utilizaron como datos crudos para el cálculo de la matriz de correlación, mientras que a las dos restantes se les aplicaron las siguientes transformaciones:

- **Altura topográfica:** para relativizar las diferencias en altura sobre el nivel del mar al valor correspondiente a cada unidad de muestreo se le restó el valor de altura topográfica media de la Unidad de Análisis a la que corresponde dicho sitio. De esta manera, disminuye la influencia causada por la pendiente regional.
- **Acumulación de agua por escurrimiento superficial:** a los valores promedio extraídos del mapa de acumulación de flujo superficial para cada unidad muestral se les aplicó una transformación logarítmica en base 10.

El Análisis de Componentes Principales, entonces, se realizó sobre la matriz de correlación calculada con las 5 variables mencionadas y los 77 casos analizados (unidades muestrales). Los tres primeros ejes extraídos acumulan el 91,86 % de la varianza y, los dos primeros el 81,71 % (Tabla N° 4.20.). La contribución de cada variable original en los componentes principales se muestra en la tabla N° 4.21.

Tabla N° 4. 20.: Resultado del ACP basado en la matriz de correlación entre 5 variables (pH, CE, % SD, Z y FlowAcc) y 77 casos (unidades muestrales).

CP	Autovalor	% Varianza	% Acumulado
1	2,483	49,664	49,664
2	1,604	32,079	81,743
3	0,507	10,136	91,879

Tabla N° 4. 21.: Coeficientes para cada variable original en los CP 1 y 2.

	CP 1	CP 2
pH	-0,577	-0,130
CE	-0,570	-0,181
% SD	-0,467	-0,256
Z	-0,138	0,712
FlowAc	0,324	-0,614

Los datos de la tabla anterior en conjunto con los coeficientes de correlación entre cada variable original y los componentes principales (Figura N° 4.26.), permiten concluir que:

- El Componente Principal 1 (CP 1) refleja el gradiente de alcalinidad del suelo, ya que presenta correlación fuertemente negativa con las variables pH, CE y % SD.



Los sitios con valores máximos para las mencionadas variables presentan valores bajos en el CP 1.

- El Componente Principal 2 (CP 2) tiene relación con la altura topográfica relativa y la acumulación de agua por escurrimiento superficial. La correlación con la variable Z es positiva mientras que es negativa con la variable FlowAcc, cuyos valores aumentan a medida que desciende en el CP 2.

Con las variables elegidas, es posible observar que los sitios muestreados se diferencian a partir de un gradiente principal de alcalinidad que es independiente de un segundo gradiente que se relaciona con la altura topográfica relativa. La acumulación de flujo por escurrimiento superficial está correlacionada con los dos primeros componentes, teniendo más influencia sobre el segundo. Es interesante que el gradiente de alcalinidad es independiente de la altura topográfica relativa, pero no de la acumulación superficial de agua.

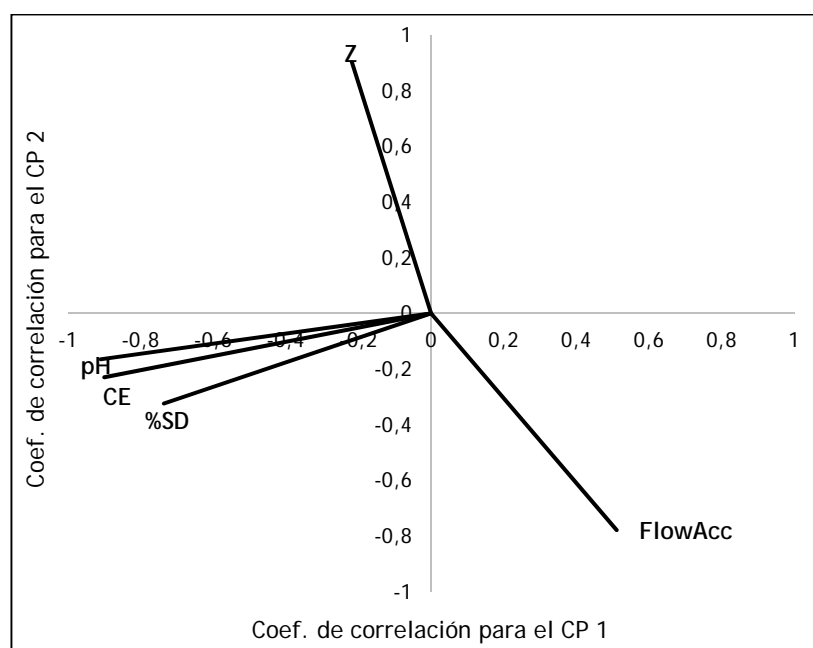


Figura N° 4. 26.: Representación esquemática de la correlación entre las variables originales y los componentes principales 1 y 2.

A partir del ACP también se extrajeron las coordenadas para las unidades de muestro en los CP 1 y CP 2, lo que permitió graficar los sitios en un plano cartesiano y calcular las distancias euclídeas ambientales entre ellos. La matriz de distancias ambientales, entonces, se construye calculando las distancias euclídeas entre unidades muestrales usando las coordenadas estandarizadas sobre los dos primeros componentes (Figura N° 4.27.).

La disposición de las unidades muestrales sobre los componentes y su identificación a partir del grupo florístico al que fueron asignadas, permite reforzar la idea de que sobre el CP 1 se manifiesta el gradiente de alcalinidad: el grupo 4 (estepa de halófitas) se ubica a la izquierda, y los tres restantes hacia la derecha. Por otro lado sobre el CP 2 se expresa el gradiente de humedad: de arriba hacia abajo, se disponen el grupo 3, los grupos 2 y 4, y finalmente el 1 (praderas de mesófitas, pradera húmedas de mesófitas y estepas de halófitas, y pradera de hidrófitas, respectivamente).

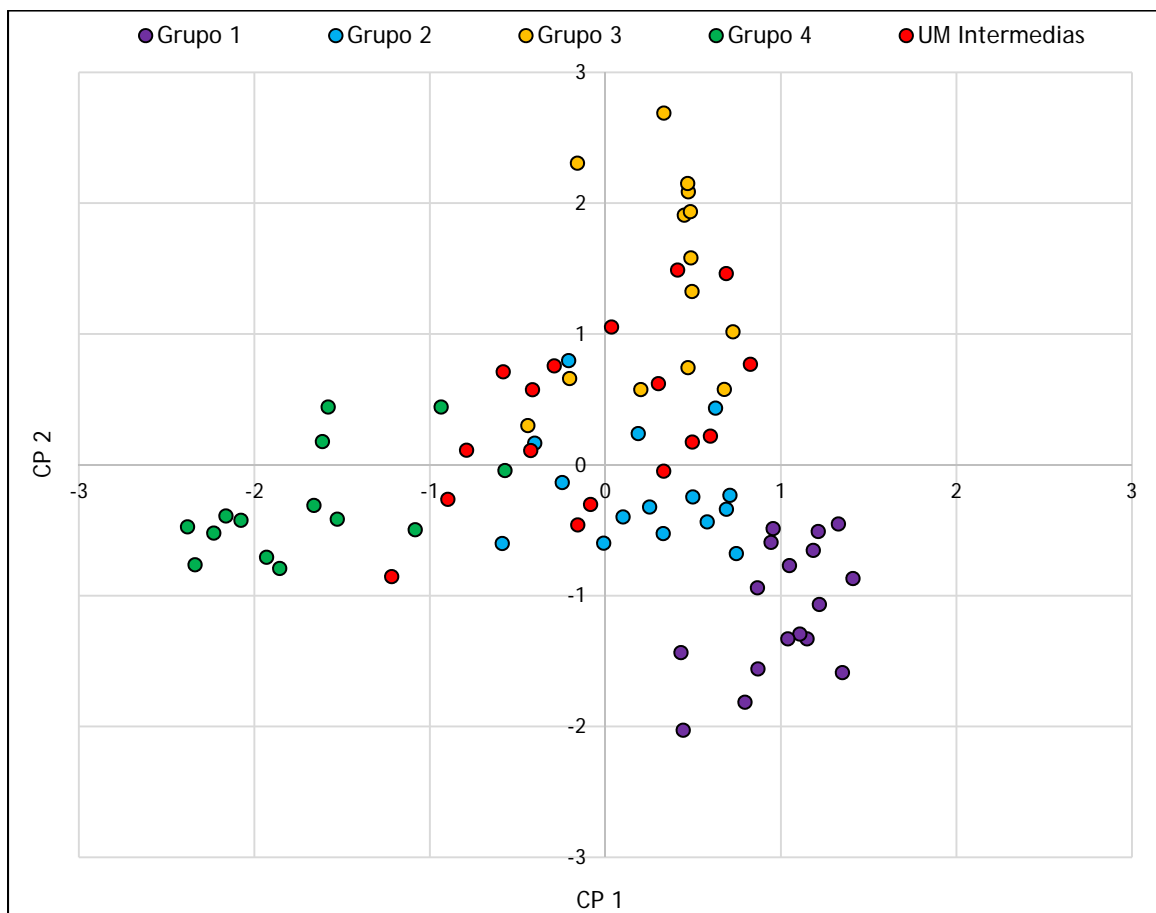


Figura N° 4. 27.: Unidades muestrales representadas a partir de sus coordenadas sobre los CP 1 y 2, y clasificadas según los grupos de unidades de muestreo conformados previamente. Grupo 1 (violeta); Grupo 2 (celeste); Grupo 3 (amarillo); Grupo 4 (verde); Unidades Intermedias (rojo).

Finalmente, se realizaron las comparaciones entre matrices aplicando el test de Mantel (Tabla N° 4.22.). Las mismas muestran la alta correlación entre las matrices de distancias florísticas y ambientales, tanto para cada Unidad de Análisis individual como para el conjunto total de datos. Por el contrario, las matrices de distancias geográficas resultan independientes de las mencionadas.

El valor de la correlación entre la matriz de distancias florísticas y la matriz de distancias ambientales para todo el conjunto de unidades de muestreo es igual 0,743 (nivel de significancia  $p = 0,001$ ), lo que pone de manifiesto la gradación conjunta que ocurre entre el reemplazo de especies y el gradiente ambiental, lo cual no se expresa con el gradiente geográfico.

Tabla N° 4. 22.: Resultados de la comparación de matrices de distancia mediante la aplicación del test de Mantel. Por debajo de la diagonal se muestran los coeficientes de correlación, y por encima los valores de significancia estadística (en negrita hipótesis nula rechazada). UA.1: Unidad de Análisis 1. UA.2: Unidad de Análisis 2. UA.3: Unidad de Análisis 3.

		Distancia Florística			Distancia Geográfica			Distancia Ambiental		
		U.A. 1	U.A. 2	U.A. 3	U.A. 1	U.A. 2	U.A. 3	U.A. 1	U.A. 2	U.A. 3
Florística	U.A. 1	1	---	---	0,522	---	---	<b>0,001</b>	---	---
	U.A. 2	---	1	---	---	0,171	---	---	<b>0,001</b>	---
	U.A. 3	---	---	1	---	---	0,466	---	---	<b>0,001</b>
Geográfica	U.A. 1	-0,007	---	---	1	---	---	0,637	---	---
	U.A. 2	---	0,052	---	---	1	---	---	0,029	---
	U.A. 3	---	---	0,001	---	---	1	---	---	0,841
Ambiental	U.A. 1	<b>0,799</b>	---	---	-0,029	---	---	1	---	---
	U.A. 2	---	<b>0,624</b>	---	---	0,154	---	---	1	---
	U.A. 3	---	---	<b>0,646</b>	---	---	-0,077	---	---	1

#### 4.4. Caracterización de elementos del paisaje y zonas de tensión.

Tal como se detalló en la Metodología, aquí se realizó la caracterización integral de los elementos constituyentes del paisaje, los cuales fueron definidos a partir de la geomorfología del mismo. Se excluyeron el análisis de los canales de drenaje mapeados en el área de estudio, por no haber sido incluidos dentro de las Unidades de Análisis seleccionadas para el proyecto.

En primer lugar, entonces, se ubicaron las unidades de muestreo localizadas en los distintos elementos del paisaje (dunas parabólicas, cubetas de deflación y dunas asociadas, y PACCE) en los espacios florísticos y ambientales (Figuras N° 4.28. y 4.29., respectivamente).

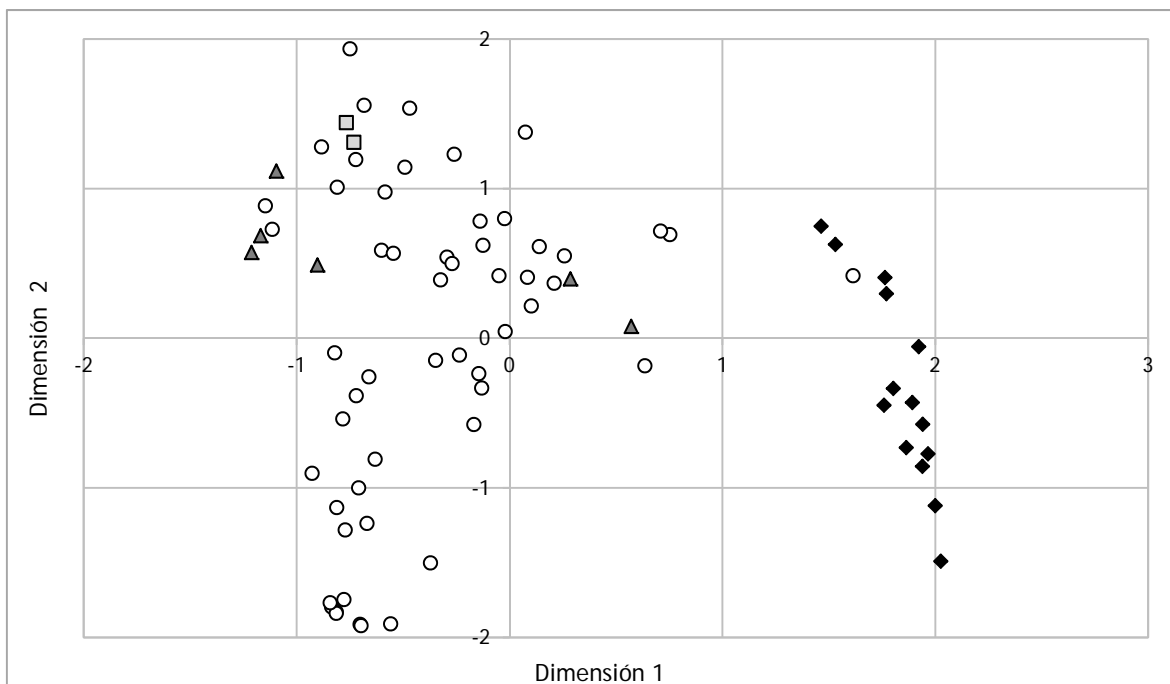


Figura N° 4. 28.: Unidades muestrales clasificadas según la geoforma donde se ubican y graficadas en el espacio florístico construido con NM-MDS. Cubetas de Deflación (Rombo negro); Dunas (Cuadrado gris claro); Duna de deflación (Triángulo gris oscuro); PACCE (Círculo blanco).

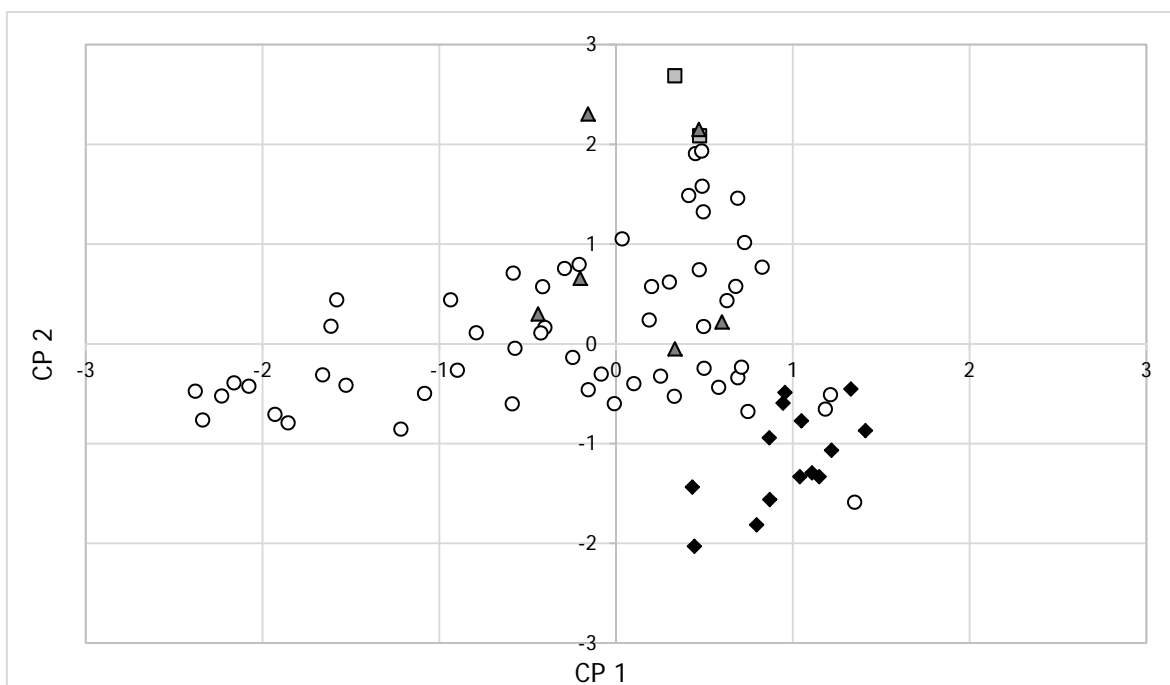


Figura N° 4. 29.: Unidades muestrales clasificadas según la geoforma donde se ubican y graficadas en el espacio ambiental. Cubetas de Deflación (Rombo negro); Dunas (Cuadrado gris claro); Duna de deflación (Triángulo gris oscuro); PACCE (Círculo blanco).

#### 4.4.1. Dunas

Estas geoformas se encuentran representadas en las Unidades de Análisis 1 y 3, cada una con un segmento de la misma duna parabólica, cuya nariz se encuentra aparentemente muy erosionada de acuerdo con lo que se observa en imágenes satelitales del área. En la Unidad de Análisis 1 la duna se encuentra cubierta por un pajonal de *Paspalum quadrifarium* con baja densidad de matas, destinado a la cría de ganado vacuno; por el contrario, el fragmento ubicado en la Unidad de Análisis 3 se destina al uso agrícola, motivo por el cual no fue atravesado por las transectas donde se dispusieron las unidades de muestreo, y por ende, no se analizó su vegetación ni sus características ambientales a nivel de unidad muestral (Figura N° 4.30.).

El análisis de los modelos de elevación evidencia que la duna analizada tiene aproximadamente 65 cm de altura relativa respecto a la PACCE, y una diferencia de más de un metro con las cubetas y depresiones ubicadas dentro de las mismas Unidades de Análisis. Por otro lado, los modelos de elevación conjuntamente con imágenes satelitales del área, muestran que los brazos de la duna parabólica no tienen expresión morfológica continua, sino que se encuentran disectados por la red de drenaje actual. Esta geoforma actúa como una divisoria de aguas local, lo cual se puede observar en el mapa de acumulación de flujo construido para la Unidad de Análisis 1, y se puede inferir para la Unidad de Análisis 3.

Los perfiles de suelos descriptos (III y VI) en los brazos de la duna parabólica muestran igual secuencia de horizontes; en ambos suelos, por debajo del horizonte A, se registró la presencia de horizontes E, los cuales son exclusivos para esta geoforma en el área estudiada. Si se los compara con los perfiles descriptos en la PACCE circundante, se destaca el mayor desarrollo relativo de horizontes A y el mayor espesor de los perfiles, además de no presentar evidencias de hidromorfismo hasta los 45 cm de profundidad. Por otro lado, se observa que en superficie ambos perfiles son medianamente ácidos, registrándose alcalinidad fuerte recién por debajo de los 40 cm. Las características mencionadas permiten el desarrollo de cultivos comerciales, como sucede en el brazo ubicado en la Unidad de Análisis 3.

Zarate y Mehl (2010) plantean que estas dunas presentan perfiles de suelos con desarrollo relativo moderado (A, AC, C), sin horizontes de iluviación y, aunque no exploraron su comportamiento en profundidad, en su artículo plantean que podrían existir secciones sedimentarias de mayor antigüedad sepultadas por reactivación eólica reciente. Sin embargo, los perfiles de suelos descriptos en esta investigación no muestran evidencias de discontinuidades en la sedimentación del material parental, por lo que la interpretación debería reformularse.



Figura N° 4. 30.: Duna parabólica y PACCE circundante. A. fragmento en Unidad de Análisis 1. B. fragmento en Unidad de Análisis 3.

Las muestras de agua extraídas de los piezómetros ubicados en ambos brazos de la duna parabólica (piezómetros C y G) manifiestan las diferencias observadas entre Unidades de

Análisis: tal como ocurre con otros piezómetros, las muestras correspondientes a la Unidad de Análisis 1 presentan los contenidos más elevados de Ca y Mg. Por el contrario, el agua extraída del piezómetro G (ubicado en la Unidad 3) presenta mayores valores de Na,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ , CE y pH, en coincidencia con el mayor contenido de sales en las aguas freáticas de dicha Unidad. La correlación entre los niveles freáticos de los piezómetros ubicados en los brazos de la duna es significativa e igual a 0,69 (valor más bajo que si se comparan los piezómetros ubicados en la misma Unidad). El segmento de duna cultivada parece tener siempre el nivel freático a mayor profundidad (Figura N° 4.10.).

Solo las transectas (con sus unidades de muestreo) dispuestas en la Unidad de Análisis 1 atravesaron el brazo de la duna parabólica que allí se encuentra. De esta manera, 2 unidades de muestreo quedaron ubicadas en esta geoforma. A partir de los datos de vegetación, las mismas fueron clasificadas en el grupo n° 3 (que se corresponde con una pradera de mesófitas), tanto por los métodos de clasificación jerárquica como por la búsqueda de combinaciones significativas, registrándose también algunas combinaciones significativas para el grupo 2 (pradera húmeda de mesófitas). En el espacio ambiental, las unidades de muestreo de la duna parabólica toman valores positivos en los CP 1 y 2, lo que evidencia sus bajos valores de pH, CE, suelo descubierto y acumulación de agua por escurrimiento superficial, en contraste con las mayores alturas relativas.

Con respecto a los límites de esta geoforma, si se observan las unidades de muestreo ubicadas en la duna y aquellas dispuestas en la PACCE circundante, es evidente que existen diferencias ambientales muy marcadas, a pesar de la sutileza del relieve (Figura N° 4.31.).

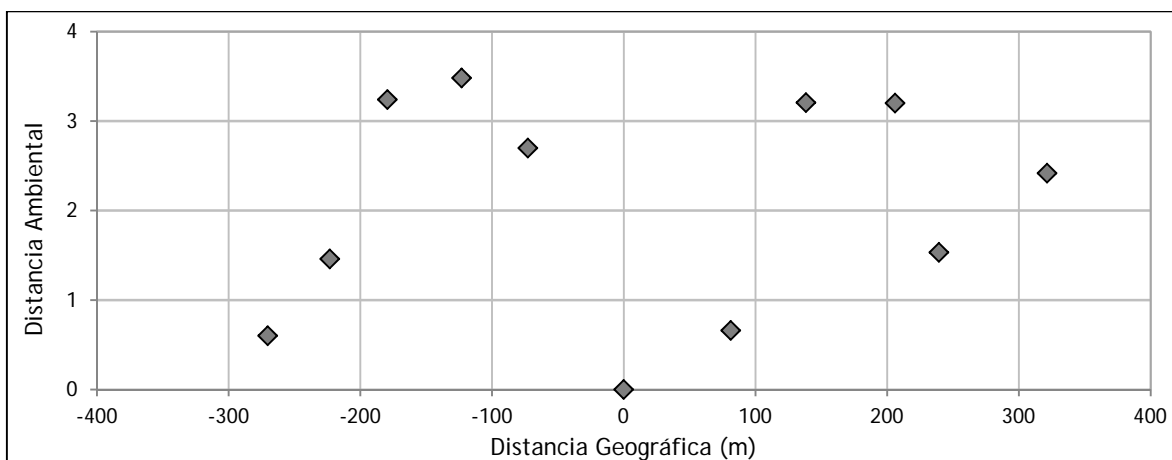


Figura N° 4. 31.: Distancias geográficas y ambientales entre unidades de muestreo de un fragmento la transecta noreste construida en la Unidad de Análisis 1, tomando como punto de partida (0) a la unidad muestral N°6.

En el flanco sudeste se observa que las diferencias ambientales con la PACCE son mucho más pronunciadas que en el flanco noroeste, donde la transición duna - PACCE tiene una manifestación más gradual. Estas diferencias ambientales consecuentemente tienen relación con el reemplazo de especies que se manifiesta en pocos metros (Figura N° 4.32.).

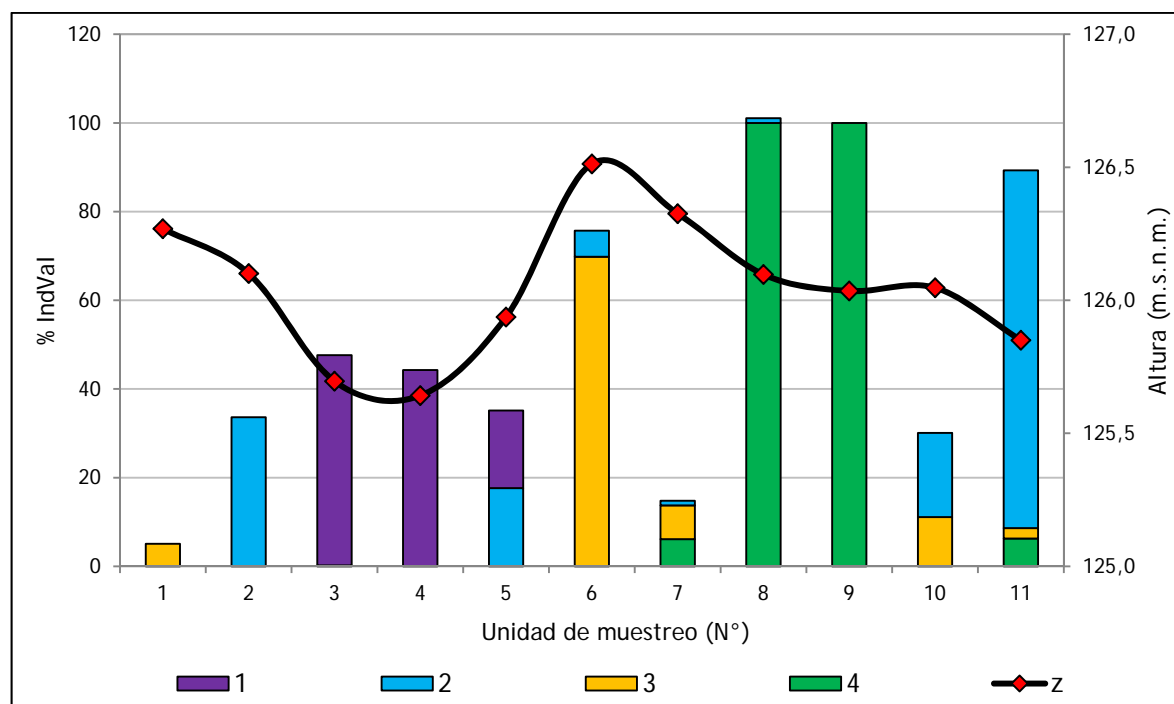


Figura N° 4. 32.: Perfil topográfico de un fragmento de la transecta noreste de la Unidad de Análisis 1, y porcentaje de especies y combinaciones indicadoras (% IndVal) en cada unidad muestral con respecto al total posible para cada grupo definido por composición florística.

En la figura anterior puede observarse que la pendiente del terreno es más pronunciada en el flanco sudeste, donde se ubica una cubeta de deflación, y más suave hacia el noroeste en la transición con la PACCE. En concordancia, la unidad de muestreo N°5 fue clasificada dentro del grupo 1 (pradera húmeda), a pesar de encontrarse en el límite con la cubeta de deflación, donde todas las unidades de muestreo son consideradas praderas húmedas. Por el contrario, la unidad de muestreo N°7 fue descartada para la conformación de grupos por considerarse una unidad intermedia, lo que se evidencia a partir de la escasa proporción de especies y combinaciones significativas que presenta para todos los grupos.

#### 4.4.2. Cubetas de deflación

Esta geoforma se encuentra representada en las Unidades de Análisis 1 y 2: particularmente en la Unidad 2 la cubeta de deflación tiene mayor extensión y se



reconoce en campo la existencia de una duna asociada a la misma ubicada en el margen Este (Figura N°4.33.). Dicha duna de deflación se considera una geoforma secundaria ya que no fue mapeada originalmente. Al momento de la toma de datos, ambas cubetas se encontraban colmadas de agua.

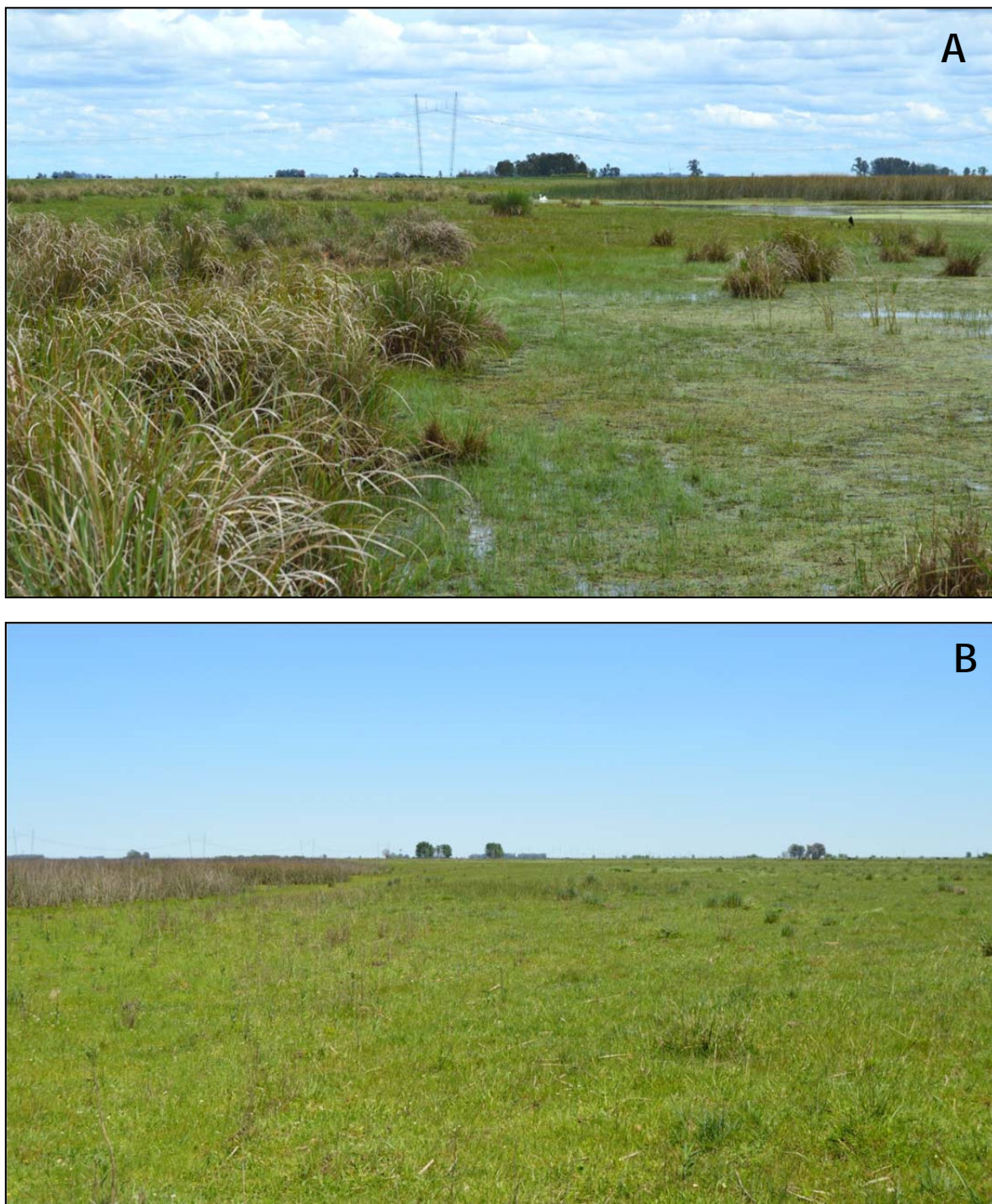


Figura N° 4. 33.: Cubeta de deflación. A. Margen Este donde se limita con la duna de deflación.  
B. Límite Cubeta - PACCE.

A partir de la construcción de los modelos de elevación fue posible determinar que las cubetas de deflación analizadas tienen profundidades entre 60 y 80 cm si se compara con la altura topográfica de la PACCE circundante. Por su parte, en la Unidad 2, la diferencia de altura relativa entre el fondo de la cubeta y la duna de deflación asociada es de 130 cm.

La extracción de las redes de drenaje en cada Unidad muestra que el agua se mueve desde la PACCE hacia las cubetas de deflación, y allí se acumula. Por su parte, en los mapas es posible observar que la duna de deflación en la Unidad de Análisis 2 no tiene expresión morfológica continua, es decir, se encontraría disectada, y actuaría como divisoria de aguas local.

Respecto a los suelos, los perfiles analizados en las orillas de las cubetas (II y V) exhiben horizontes con secuencias A - Bt - Ck, explorados hasta los 45 cm por fuerte cementación con  $\text{CaCO}_3$ . Ambos perfiles presentan alto contenido de CO en el horizonte A, y evidencias de drenaje muy deficiente desde la superficie. Por su parte, el perfil de suelos descrito sobre la duna de deflación (IV) presenta horizontes Bk y Bk cementado, que funcionan como niveles acuitados, y concreciones de Fe a partir de los 30 cm de profundidad, que son indicadores de drenaje deficiente.

La dinámica del nivel freático en las cubetas de deflación se analizó a partir de los datos obtenidos de los piezómetros B, E y F. Tanto el piezómetro B (orilla cubeta de deflación, Unidad de Análisis 1) como el E (duna de deflación, Unidad de Análisis 2) presentan correlaciones altas y significativas entre sí y con los demás piezómetros de la Unidad de Análisis 1. Por el contrario, el piezómetro F (fondo de cubeta de deflación, Unidad de Análisis 2) no se correlaciona significativamente con ningún otro, debido a la escasa cantidad de observaciones con las que se cuenta por encontrarse bajo agua la boca de pozo en numerosas oportunidades. A pesar de no contar con datos suficientes, la información existente sobre la dinámica hídrica de estas geoformas (Dangavs, 2005; Kruse y Laurencena, 2005; Tricart, 1973; Usunoff *et al.*, 2000) permite inferir que el agua superficial observada durante los muestreos de vegetación proviene de las precipitaciones directas sobre el espejo de agua, el escurrimiento superficial, y las descargas de agua subterránea, desconociendo el grado de aporte de cada uno de estos componentes.

Con respecto a las características químicas del agua freática, se destaca que la cubeta de la Unidad de Análisis 1 presenta aguas freáticas de tipo  $\text{HCO}_3\text{-Ca/Na}$ , mientras que las aguas en la cubeta de la Unidad 2 son de tipo  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ , tanto en la orilla como en la duna de deflación, con mayor contenido de Mg, Na, Cl,  $\text{SO}_4$  y  $\text{HCO}_3$ , y valores más elevados de CE y pH. Las diferencias podrían atribuirse al gradiente regional con dirección sur-norte observado entre las Unidades de Análisis (mayor contenido generalizado de iones en el sector norte del área de estudio).

Tanto en la Unidad de Análisis 1 como en la 2, las cubetas de deflación fueron atravesadas por las transectas imaginarias sobre las que se dispusieron las unidades de muestreo. De esta manera, 20 unidades de muestreo se localizaron en estas geoformas, 14 en las cubetas propiamente dichas, y 6 en la duna de deflación asociada en la Unidad de Análisis 2.

Todas las unidades muestrales ubicadas en las cubetas propiamente dichas (14) se clasificaron de acuerdo con los datos florísticos dentro del grupo N° 1 (praderas de hidrófitas), tanto por los métodos jerárquicos como por la búsqueda de especies y combinaciones significativas. Conjuntamente, en estas geoformas se incluyen todas las unidades muestrales clasificadas en el grupo N°1, con excepción de las unidades N° 5, 13 y 18, todas ellas ubicadas en la Unidad de Análisis 1 (PACCE). Las unidades de muestreo ubicadas en las cubetas solo tienen combinaciones correspondientes al grupo N° 1. Por su parte, del total de unidades de muestreo ubicadas en la duna de deflación (6), 4 se clasificaron dentro del grupo N° 3 (praderas de mesófitas), tanto por métodos jerárquicos como por presencia de especies y combinaciones significativas. Las unidades muestrales restantes (N° 30 y 42) fueron clasificadas como intermedias en cuanto a su vegetación, y geográficamente se encuentran en el límite entre la cubeta propiamente dicha y su duna asociada.

En el espacio ambiental, las unidades de muestreo localizadas en las cubetas de deflación propiamente dichas se ubican en el cuadrante derecho inferior, debido a que presentan los mayores valores de acumulación de agua superficial y las menores alturas relativas, además de bajos valores de pH y CE. En cambio, si se analiza la ubicación en el espacio ambiental de las unidades de muestreo localizadas en la duna de deflación, se observa que 4 unidades muestrales se encuentran alrededor del origen en ambos CP, mientras que las dos unidades restantes toman valores más altos en el CP 2. Esto muestra que, en general, los sitios localizados en la duna de deflación asociada a las cubetas presentan valores intermedios de pH y CE, pero alturas relativas positivas respecto a los demás sitios de su Unidad de Análisis y baja acumulación de agua por escurrimiento superficial.

Las características topográficas, edáficas, hidrológicas y ecológicas de las cubetas de deflación hacen que estos elementos del paisaje funcionen como verdaderos humedales, a pesar de que pueden secarse en algún momento de algunos años, dependiendo de las oscilaciones climáticas propias de la región.

El análisis de los límites de las cubetas de deflación y su relación con la PACCE circundante, evidencia que existen pequeñas diferencias ambientales entre los puntos ubicados en las cubetas de deflación propiamente dicha, en contraste con la marcada discontinuidad que se evidencia en ambos márgenes (Figura N° 4.34.).

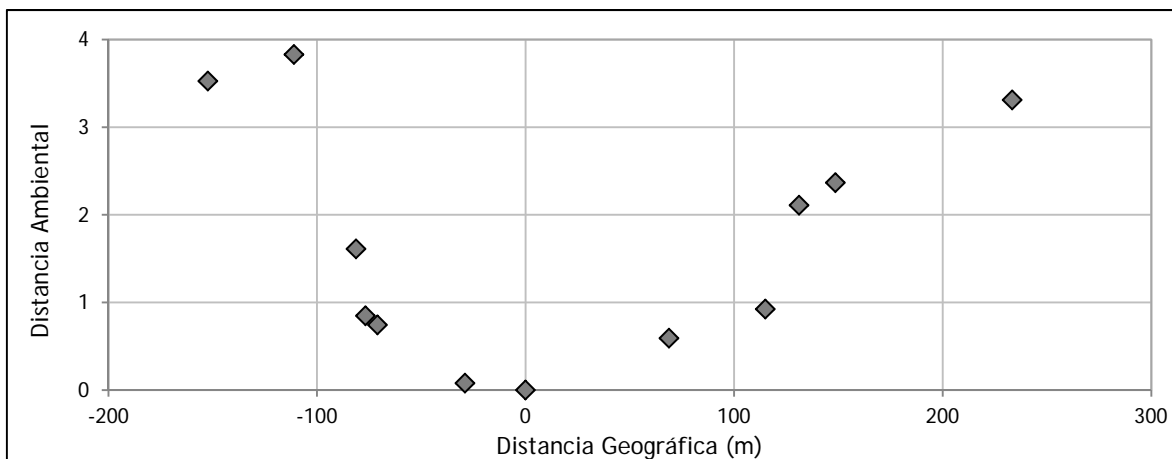


Figura N° 4. 34.: Distancias geográficas y ambientales entre unidades de muestreo de un fragmento la transecta noreste construida en la Unidad de Análisis 2, tomando como inicio la unidad muestral N° 34.

La orilla sudeste, donde la cubeta limita con su duna asociada, presenta diferencias ambientales más abruptas ocasionadas principalmente por las distancias entre unidades de muestreo sobre el CP 2. Por su parte la orilla noroeste, que limita con la PACCE, presenta un límite más gradual de acuerdo con lo observado en el espacio ambiental (Figura N° 4.34.).

En concordancia con lo anterior, las diferencias ambientales se manifiestan en el reemplazo de especies vegetales que acontece en pocos metros (Figura N° 4.35.). A pesar de las diferencias ambientales entre ambos márgenes de la cubeta representada, no se aprecian diferencias florísticas considerables: tanto en el límite con la duna de deflación como en el límite con la PACCE, en pocos metros se pasa de una pradera húmeda (grupo 1) a una pradera de mesófitas (grupo 3), con una unidad de muestreo intermedia en ambos casos. Dichos sitios intermedios presentan especies y combinaciones significativas para el grupo 1, y se diferencian en que el ubicado en el límite con la duna contiene además combinaciones para el grupo 3, mientras que la unidad de muestreo N° 37 presenta especies indicadoras de praderas húmedas de mesófitas (grupo 2), al igual que los demás sitios localizados sobre la PACCE lindera con la cubeta propiamente dicha.

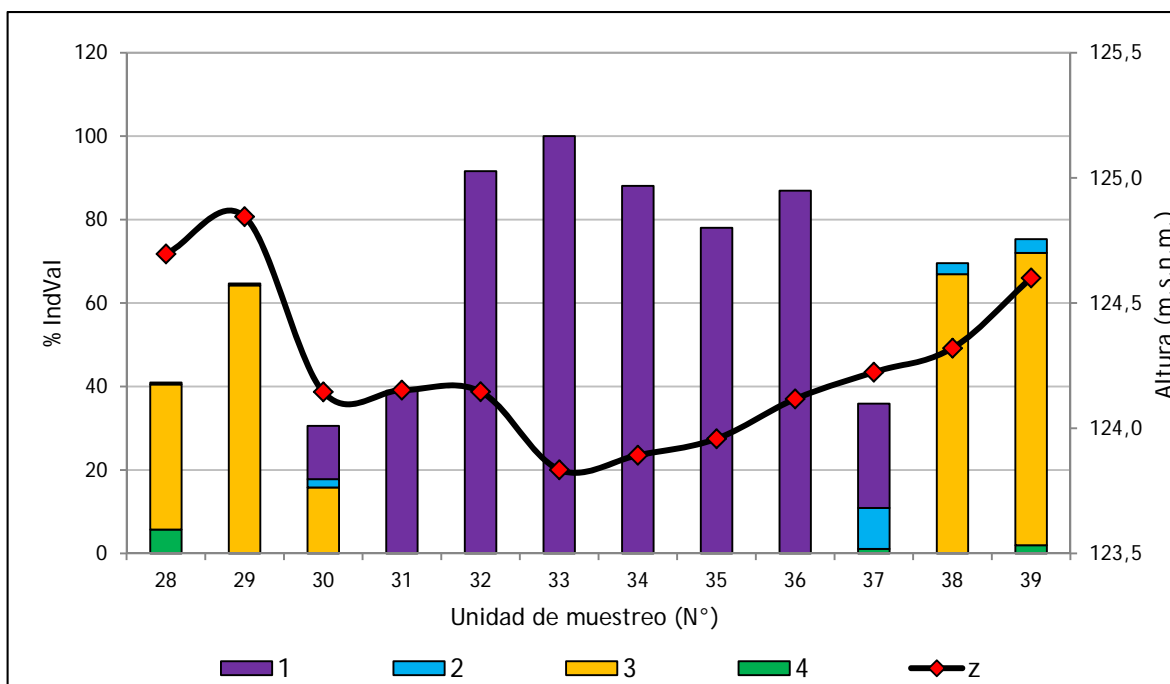


Figura N° 4. 35.: Perfil topográfico de la transecta noreste de la Unidad de Análisis 2, y porcentaje de especies y combinaciones indicadoras (% IndVal) en cada unidad muestral con respecto al total posible para cada grupo definido por composición florística.

Es interesante destacar que el mapeo original de estas geoformas se realizó considerando la extensión de los espejos de agua por lo que, a pesar de la identidad propia que tienen estas geoformas, sus límites son variables de acuerdo con las condiciones hidrológicas imperantes al momento de confeccionados los mapas. Esto es particularmente evidente en las observaciones realizadas en la cubeta de deflación de la Unidad de Análisis 1, donde hay más sitios clasificados dentro del grupo de vegetación 1 (pradera de hidrófitas) que localizados dentro de los límites de la cubeta mapeada originalmente.

#### 4.4.3. Planicie de Agradación con Costra Calcárea Estratiforme (PACCE)

Este elemento constituye la matriz del paisaje geomorfológico. Se encuentra presente en todas las Unidades de Análisis y los datos obtenidos ponen de manifiesto su heterogeneidad.

Los modelos de elevación contruidos para cada Unidad de Análisis ilustran las diferencias en la microtopografía presentes en la PACCE: particularmente, se registran diferencias de cota de 80, 40 y 100 cm dentro de las Unidades de Análisis 1, 2 y 3,

respectivamente. La pendiente general en el área de estudio es hacia el cuadrante noreste, además de observarse una disminución progresiva de las cotas desde el sudeste hacia el noroeste. En las Unidades 1 y 2 las alturas disminuyen a medida que se avanza por las transectas construidas con orientación sudeste-noroeste.

El análisis de los modelos de elevación conjuntamente con los mapas de acumulación de flujo superficial permitió reconocer, dentro de la homogeneidad aparente de la PACCE, la existencia de canales de drenaje y elevaciones centimétricas. Estas formas del terreno no fueron mapeadas previamente debido a su reducida expresión morfológica y espacial, lo que dificulta su reconocimiento en imágenes satelitales y modelos de elevación contruidos a escalas más amplias. En el presente trabajo, denominamos a estas geoformas secundarias microcanales de drenaje y microlomas, respectivamente.

Específicamente, los microcanales de drenaje (Figura N° 4.36.A.) se reconocen excavados en las Unidades de Análisis 1 y 3, y presentan profundidades relativas que varían entre 10 y 25 cm. Su dirección predominante es hacia el N, y en sus tramos inferiores hacia el noreste, debido a la presencia de las dunas que actúan como divisorias de agua. De forma general, su orientación coincide con el flujo superficial regional.

Por su parte, las microlomas (Figura N° 4.36.B.) se reconocen en las tres Unidades de Análisis, presentando cotas entre 15 y 35 cm más elevadas que la PACCE; estos sitios, tienen contorno circular a semicircular y no reciben agua de sectores vecinos en momentos de excesos hídricos. Estas microlomas se caracterizan actividad de mamíferos excavadores (mulitas y peludos), observándose gran cantidad de material removido incluso más allá del horizonte cementado.





Figura N° 4. 36.: Geoformas secundarias. A. Microcanal de drenaje. B. Microloma.

Para caracterizar los suelos de la PACCE se describieron 4 perfiles (I, VII, VIII y IX), de los cuales 2 se ubicaron en sitios considerados microlomas, 1 en la llanura de inundación de un microcanal de drenaje, y la restante en la planicie de agradación propiamente dicha. Todos los perfiles presentan secuencias de horizontes pedológicos similares (A - Bt - Ck), manifestando alcalinidad fuerte por debajo de los 20 cm, y horizonte Ck con diferente grado de cementación con  $\text{CaCO}_3$ . Particularmente, para el perfil ubicado junto a un microcanal de drenaje, se destaca el alto contenido de materia orgánica registrado en el horizonte A, su estructura fuertemente degradada con evidencias de pisoteo, y la aparición de nódulos de Mn por debajo de los 35 cm. Por su parte, los perfiles localizados sobre microlomas presentan fuerte cementación en horizontes Ck, y evidencias de drenaje deficiente a partir de los 40 cm de profundidad (esto último solo se observó en el perfil VIII). El único perfil descrito sobre la PACCE propiamente dicha tiene la particularidad de presentar alcalinidad muy fuerte desde superficie (pH mayor a 9,1), y un horizonte tipo Fragipan con evidencias de drenaje deficiente a los 58 cm de profundidad.

Los datos químicos obtenidos para los piezómetros localizados en la PACCE (piezómetros A y J ubicados sobre microlomas; piezómetro I en la llanura de inundación de microcanal de drenaje; piezómetros D, H y K en la planicie de agradación propiamente dicha) muestran que las aguas son de tipo  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ , registrándose mayores contenidos de Ca y Mg en aquellos pozos ubicados en la Unidad de Análisis 1, y valores más elevados de Na,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ , pH y CE en los construidos dentro de la Unidad de Análisis 3. No se registraron diferencias destacables en la composición química de las aguas freáticas que subyacen a las microlomas y microcanales, con respecto a la tendencia general observada de aumento del contenido iónico en la Unidad de Análisis 3 (ubicada en el sector más al N del área de estudio).

Con respecto a la dinámica de los niveles freáticos registrados en los 6 piezómetros mencionados, se observaron fluctuaciones similares de la altura del agua y, por lo tanto, correlaciones elevadas y significativas. Dichas correlaciones son más elevadas aun cuando se comparan los pozos ubicados dentro de la misma Unidad de Análisis. No se observan diferencias en la dinámica del nivel freático entre los piezómetros ubicados en microlomas y los de la PACCE propiamente dicha. Solo el piezómetro I, localizado en la llanura de inundación de un microcanal de drenaje, presenta un comportamiento diferente al resto. Los datos registrados permiten inferir que los microcanales actúan como pequeños cursos de agua influentes en momentos de excesos hídricos, lo que genera una recarga puntual por infiltración del agua que escurre superficialmente. En todos los piezómetros instalados en la PACCE se cuenta con al menos una medición de nivel con profundidad menor a 40 cm, coincidente con inviernos húmedos (años 2012, 2014 y 2017), lo cual evidencia que, al menos en algún momento del año, la zona de exploración radical en la matriz del paisaje se encuentra saturada. La frecuencia de estas observaciones es menor en los piezómetros A y J, que coinciden con microlomas,



mientras que se cuenta con varias observaciones de niveles freáticos muy someros para los piezómetros I, D, K y H, ubicados en la llanura de inundación del microcanal de drenaje y en la PACCE propiamente dicha, respectivamente.

La PACCE, con sus microcanales y microlomas, fue atravesada en las 3 Unidades de Análisis por las transectas sobre las que se dispusieron las unidades de muestreo. Así, de las 77 unidades muestreadas, 55 se localizaron sobre la PACCE de las cuales 11 coinciden con microcanales de drenaje, 9 con microlomas, y las restantes 35 con la planicie de agradación propiamente dicha.

Con respecto a la vegetación, en la PACCE se encuentran todas las unidades de muestreo asignadas a los grupos 2 y 4 (pradera húmeda de mesófitas y estepa de halófitas, respectivamente), además de la gran mayoría de los sitios considerados intermedios y excluidos de la formación de grupos. El grupo 3 se encuentra representado, además de en la PACCE, en las dunas parabólicas y en las dunas asociadas a las cubetas de deflación. Finalmente, en la PACCE se registran muy pocas unidades de muestreo asignadas al grupo 1, que es casi exclusivo de las cubetas de deflación.

De esta manera, la clasificación de las unidades de muestreo ubicadas en la PACCE propiamente dicha a partir de los datos florísticos arrojó los siguientes resultados: de las 35 unidades, el 40 % corresponde al grupo 4 y el 42,8 % a unidades consideradas intermedias, mientras que los grupos 1, 2 y 3, representan el 8,5, 11,4 y 2,8 %, respectivamente (Figura N° 4.37.). Por su parte, las 11 unidades de muestreo ubicadas en microcanales de drenaje se clasificaron todas dentro del grupo 2, mientras que las 9 unidades localizadas sobre microlomas se asignaron 7 al grupo 3, y las dos restantes se consideraron intermedias.

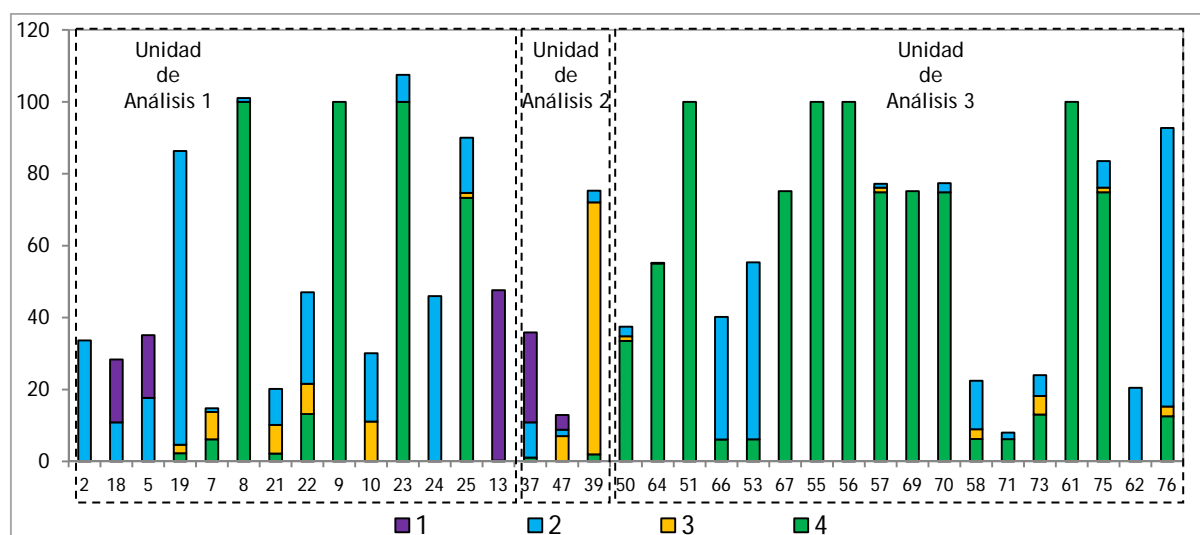


Figura N° 4. 37.: Porcentajes de IndVal para los grupos conformados a partir de datos florísticos con respecto al máximo posible, para cada unidad muestral de la PACCE propiamente dicha.

La representación de las 35 unidades de muestreo de la PACCE en la figura anterior, evidencia que en la Unidad de Análisis 3 se encuentra la mayor cantidad de sitios con alta proporción de especies y combinaciones significativas para el grupo 4 y, en menor medida, para el grupo 2, lo que indica mayor representatividad espacial de las estepas de halófitas y de las praderas húmedas de mesófitas. Por su parte, en PACCE de la Unidad de Análisis 1, las unidades de muestreo son más heterogéneas, destacándose la alta proporción de especies y combinaciones significativas para el grupo 2 y la representatividad del grupo 1 en el sector noreste, donde la PACCE rodea a la cubeta de deflación allí presente. La mayor proporción de unidades muestrales consideradas como estepas de halófitas en la Unidad 3 respecto de la Unidad 1, coincide con las diferencias observadas en el contenido iónico de las aguas freáticas es decir, con el gran aumento del contenido de  $\text{Na}^+$  en los piezómetros situados al norte del área de estudio respecto a los ubicados en el sector sur.

Si se representan todas las unidades de muestreo incluidas en la PACCE (incluyendo las ubicadas en microcanales y microlomas) en el espacio bidimensional construido a partir de la extracción de componentes principales (Figura N° 4.38.) se observa que la máxima dispersión se encuentra sobre el CP 1, indicando que las mayores diferencias al interior de la PACCE se relacionan con el gradiente de alcalinidad del suelo. Las muestras ubicadas hacia la izquierda en el CP 1 presentan poca dispersión sobre el CP 2, mientras que aquellas que se encuentran hacia la derecha sobre el CP 1 se observan considerablemente dispersas sobre el segundo componente. Lo anterior estaría indicando que, aquellos sitios con valores más elevados de pH y CE en suelo y gran proporción de suelo sin cobertura vegetal, son homogéneos en cuanto a su altura relativa y acumulación de agua por escurrimiento superficial; por el contrario, aquellas unidades con pH neutros a ácidos, CE baja y totalmente cubiertos por vegetación, son muy dispares en cuanto a sus alturas relativas y a su potencialidad de recepción de excesos hídricos, aunque no llegan a tomar valores extremos respecto a estas últimas variables.

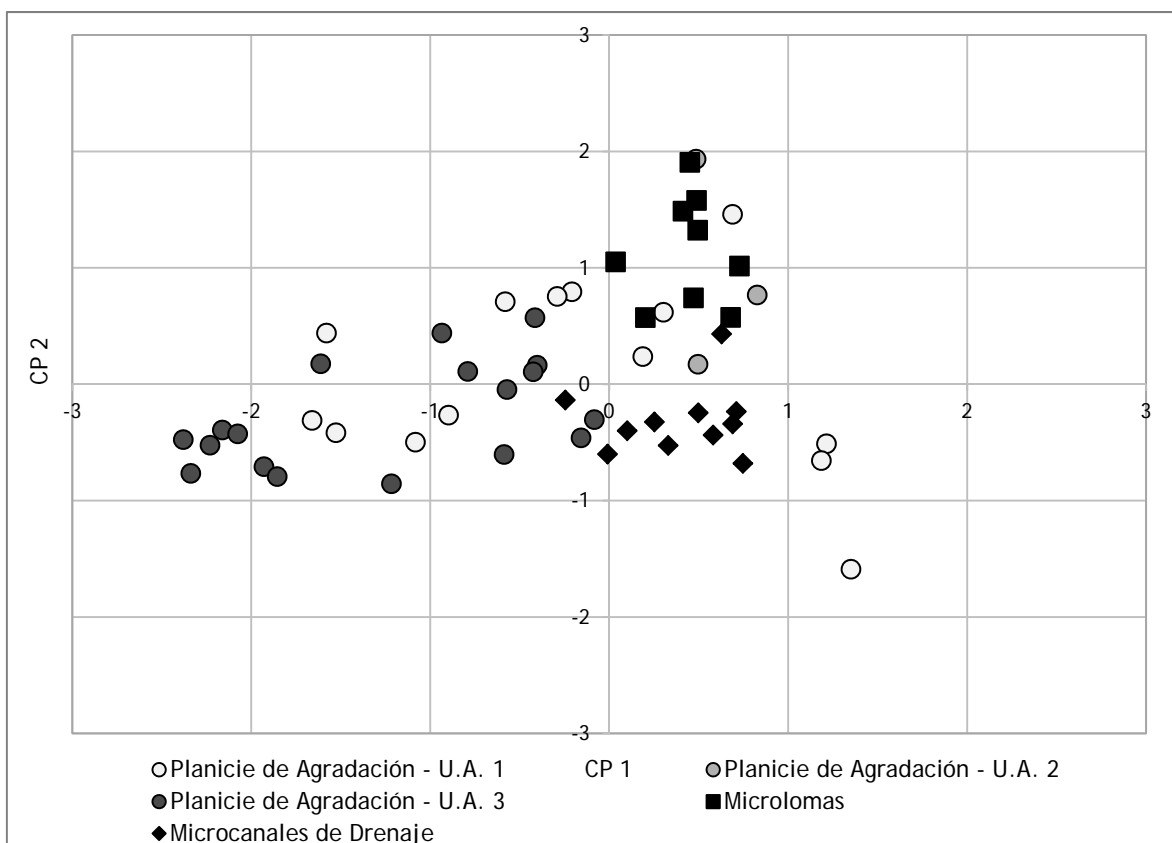


Figura N° 4. 38.: Unidades de muestreo de la PACCE graficadas en el espacio ambiental, e identificadas según la geoforma secundaria en la que se localizan.

Del gráfico anterior también se desprende que gran parte de las unidades de muestreo ubicadas hacia la derecha sobre el CP 1 son las que se localizan en las geoformas incipientes reconocidas dentro de la PACCE: los microcanales de drenaje y las microlomas. Ambos sitios presentan pH neutro a ácido, valores bajos de CE y gran cantidad de suelo cubierto por vegetación, diferenciándose por su altura relativa (mayores en microlomas y menores en microcanales) y la potencialidad de recibir agua de sectores vecinos por escurrimiento superficial (comportamiento inverso). Con algunas excepciones, aquellas unidades de muestreo ubicadas en la PACCE propiamente dicha presentan alturas relativas intermedias, escasa acumulación de flujo superficial, y valores elevados de pH, CE y suelo sin cobertura vegetal. Es interesante destacar que aquellas unidades de muestreo con valores más extremos sobre el CP 2 se ubican en las Unidades de Análisis 1 y 2 (lo cual se debe, por lo menos parcialmente, al sesgo en el mapeo de cubetas, al grado de detalle con el que se relevó la microtopografía, y a la extensión de los potreros analizados), mientras que la PACCE en la Unidad 3 muestra las condiciones más extremas de alcalinidad presentes en el área analizada.

Las diferencias ambientales entre la PACCE y las geoformas secundarias reconocidas son de magnitud considerable (más de 2,5 de distancia euclídea) (Figura N° 4.39.). Se asemejan a las diferencias calculadas entre la planicie y las dunas y cubetas de deflación.

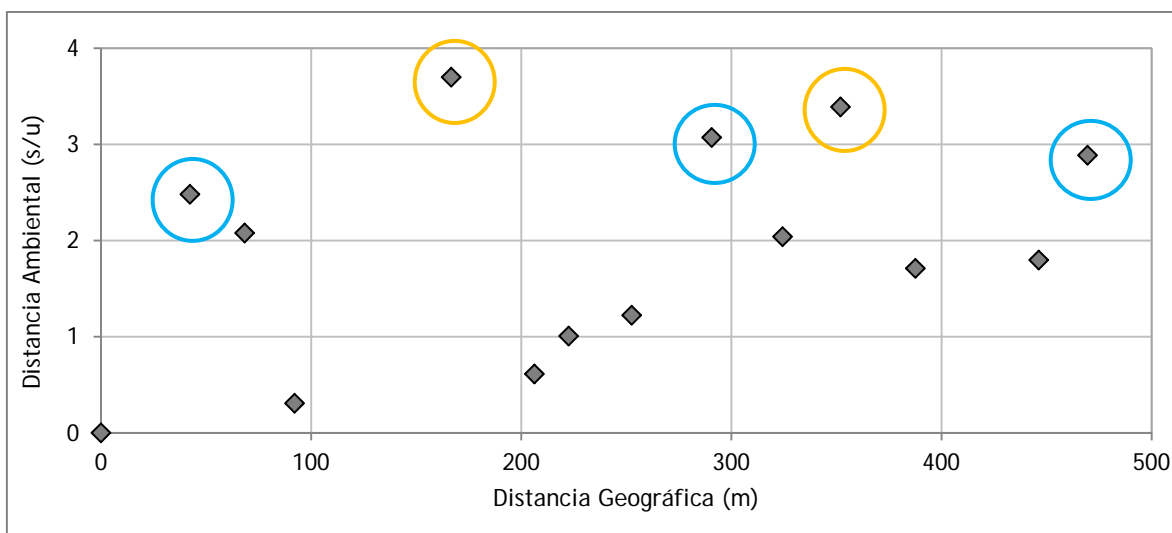


Figura N° 4. 39.: Distancias geográficas y ambientales entre unidades de muestreo de la transecta sudoeste de la Unidad de Análisis 3, tomando como inicio la unidad de muestreo N°64. Círculos celestes: unidades localizadas en microcanales; círculos amarillos: unidades ubicadas en microlomas.

Los microcanales de drenaje son los puntos más bajos del perfil topográfico y las microlomas los más altos (Figura N° 4.40.). Es destacable que nunca se pasa directamente de un microcanal a una microloma, sino que se reconoce la PACCE propiamente dicha entre estas geoformas. Lo anterior ocurre a diferencia de lo observado, por ejemplo, en los límites entre la duna y la cubeta de deflación, o entre la cubeta de deflación y su duna asociada, de la Unidad de Análisis 1 y 2, respectivamente.

A pesar de que el agua muchas veces circula levemente encauzada por los microcanales de drenaje, es notable que gran cantidad de unidades muestrales presentan combinaciones significativas para el grupo 2, es decir, tienen representantes de las praderas húmedas de mesófitas. Esto refuerza la idea de lo deprimido del paisaje en general, y del funcionamiento de los pastizales de la Pampa Deprimida en particular, como un macrosistema de humedales fuertemente dependiente de las oscilaciones climáticas.

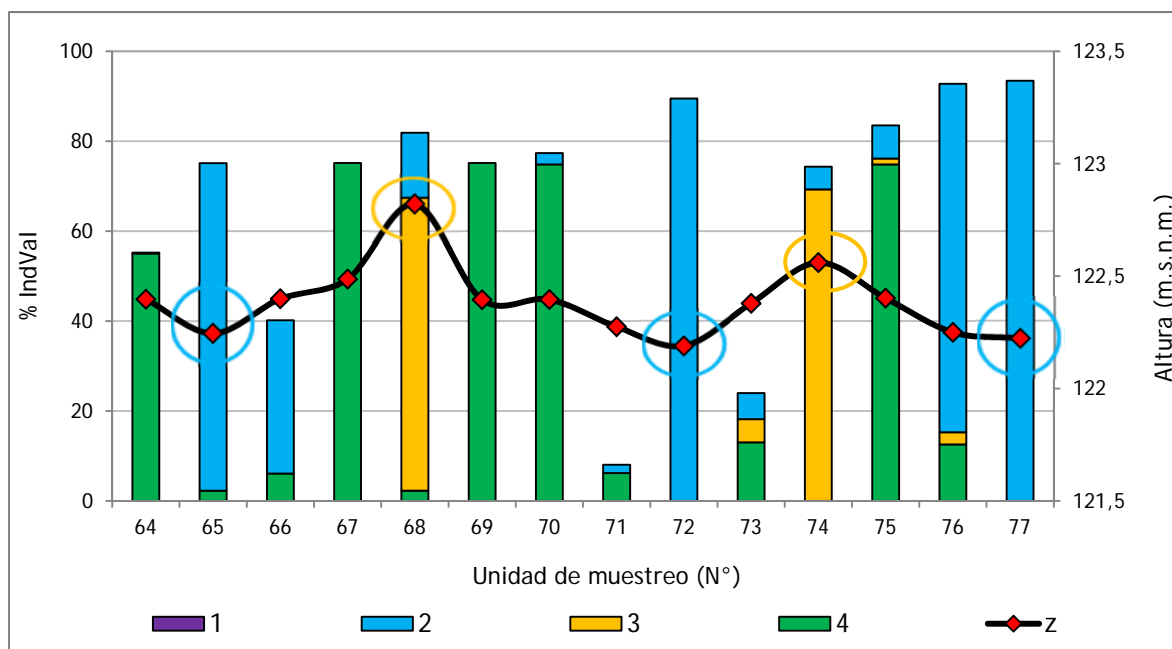


Figura N° 4. 40.: Perfil topográfico para la transecta noroeste de la Unidad de Análisis 3 y porcentajes de IndVal para los grupos conformados a partir de datos florísticos con respecto al máximo posible, para cada unidad de muestreo ubicada sobre la transecta. Círculos celestes: unidades localizadas en microcanales; círculos amarillos: unidades ubicadas en microlomas.

## Capítulo N° 5: DISCUSIÓN

A partir de la aceptación del enunciado que expresa que “*el paisaje terrestre es un mosaico conformado por diferentes geoformas, tipos de vegetación y usos de la tierra*” (Urban *et al.*, 1987), el espíritu de esta investigación ha sido indagar acerca de la complejidad intrínseca del paisaje en un área de pastizales naturales del sector inferior de la cuenca del arroyo del Azul. Un paisaje que, a pesar de su aparente homogeneidad por tratarse de un área de llanura, está conformado por diferentes elementos que se disponen en el espacio e interactúan entre ellos con una dinámica propia. Para entender en profundidad esta cuestión, fue fundamental identificar y seleccionar las variables más relevantes y, a su vez, considerarlas a diferentes escalas.

### 5.1. Objetivo específico I

*Caracterizar el mosaico paisajístico en un sector de la cuenca inferior del arroyo del Azul a partir de sus características geomorfológicas e hidrológicas.*

En el dominio extraserrano de la cuenca del arroyo del Azul, el paisaje se caracteriza por la superposición de geoformas eólicas y fluviales generadas en distintos momentos y respondiendo a diferentes condiciones ambientales del pasado. Dominan las formas eólicas de acumulación (incluyendo al manto eólico y a las dunas longitudinales y parabólicas) por sobre las fluviales. Las relaciones de campo observadas entre ambas sugieren que las fluviales se han generado en tiempos más recientes.

Específicamente, en la *Planicie de Agradación con Costra Calcárea Estratiforme* (PACCE) se distinguen características particulares que la diferencian del resto de los ambientes de la cuenca del Azul. Zárate y Mehl (2010) consideran que esta unidad geomorfológica constituye un área de tránsito entre el Dominio Serrano y la Planicie de Agradación Aluvial (PAA), a través de la cual se transportaron los sedimentos eólicos retrabajados fluvialmente que en la actualidad se observan en los sectores distales de la cuenca, ubicados al norte. Por otro lado, autores como Fidalgo (1983) y Tricart (1973) mencionan la existencia de abanicos aluviales en el área periserrana de Tandilia, que involucrarían al ámbito de la PACCE. Durante el desarrollo de esta investigación, al igual que afirman Zárate y Mehl (2010), no se obtuvieron evidencias de la presencia de depósitos aluviales en el ámbito de la PACCE, a pesar de que la observación de imágenes satelitales permite apreciar la existencia de aparentes zonas de derrame al norte del arroyo del Azul. Allí, el manto eólico no edafizado solo se observa en los perfiles de suelos y sedimentos de las dunas parabólicas; en el resto de la PACCE se infiere la presencia de la unidad litoestratigráfica 3 descrita por Zárate y Mehl (2010), completamente modificada por pedogénesis, apoyando sobre la costra calcárea (techo de la unidad litoestratigráfica 2).

Las *dunas parabólicas*, desde el punto de vista estratigráfico, están constituidas por aproximadamente un metro de loess meteorizado, que en dirección hacia la superficie grada a un perfil de suelo y apoya sobre una concentración calcárea, correlacionable con el techo de la unidad litoestratigráfica 2 descrita por Zárate y Mehl (2010). Durante esta investigación no se obtuvieron evidencias que indiquen la presencia de otro suelo enterrado en la base, ni de erosión o truncamiento, y los perfiles descriptos parecerían ser el resultado del proceso de formación de suelos. La potencia de los horizontes A sugiere el probable aporte eólico en superficie, posterior al comienzo de la pedogénesis. De esta manera, se infiere que la formación de las dunas es coetánea con la depositación del manto eólico que conforma la PACCE y precede a la formación de la red de drenaje actual. Por lo tanto, las diferencias observadas entre sus suelos y los de la planicie circundante se deberían principalmente al factor relieve.

A partir de lo anterior, merecerían replantearse las siguientes hipótesis formuladas por Zárate y Mehl (2010): 1. Las dunas longitudinales y parabólicas se formaron durante el máximo de la última glaciación, por lo cual es predecible la existencia de perfiles de suelos enterrados. 2. El manto eólico que incluye dunas y cuencas de deflación de la PACCE, así como las dunas longitudinales y parabólicas, han sido reactivados en el Holoceno (medio tardío? - Pequeña edad de Hielo) lo que determinaría la existencia de suelos con perfiles A, AC, C. No se cuenta con edades numéricas que permitan validar o contrastar las hipótesis mencionadas. Es probable que la depositación de material eólico se haya reactivado durante el Holoceno medio-tardío, tal como sugieren evidencias regionales (Dangavs & Blasi, 1995; Zárate et al., 2000; Prieto *et al.*, 2004). Este proceso habría incrementando la potencia de los horizontes A y generado microelevaciones, pero sin continuidad espacial dentro del área analizada, y sin provocar una discontinuidad observable en el perfil de suelos y sedimentos. La reactivación eólica durante el Holoceno medio tardío (?) (periodo en el cual se han inferido condiciones de mayor aridez relativa - Prieto *et al.*, 2004; Zárate *et al.*, 2000), además de haber aportado material a los sectores elevados, sería también parcialmente responsable del mayor espesor de sedimentos al este del arroyo del Azul, en la unidad geomorfológica denominada Planicie de Agradación con Cubierta Eólica Dominante (PACED).

Con respecto a las *microlomas*, aún no se conoce el origen de estas geoformas incipientes. A partir de las observaciones e interpretaciones realizadas, como posibles explicaciones respecto a su formación se plantea:

1. Acumulación de material eólico posterior a la depositación del loess durante el Pleistoceno, en algún episodio de reactivación que generó pequeñas elevaciones conjuntamente con las dunas parabólicas (Holoceno Medio-tardío).
2. Erosión de la PACCE por acción fluvial en tiempos recientes.
3. Modificación de la distribución de sedimentos en la PACCE por parte de la fauna.

La reactivación eólica durante el Holoceno debió incrementar la potencia de los perfiles de suelos de las microlomas, lo cual no fue observado. Conjuntamente, la forma en planta de estas geoformas sugiere que la génesis no se relacionaría con el escurrimiento del agua, ya que un proceso de drenaje debería generar elevaciones con un patrón subparalelo a la dirección general del agua superficial. Considerando que se registraron fragmentos de  $\text{CaCO}_3$  en todo el espesor del material sedimentario, la hipótesis más probable respecto a su génesis sería la N° 3.

La extrema horizontalidad del paisaje en zonas tan deprimidas como la aquí analizada provoca que el agua se mueva muy lentamente, en forma de manto. Sin embargo, las observaciones realizadas en las Unidades de Análisis muestran que el agua se desplaza sobre la superficie del terreno hasta encauzarse en los *microcanales de drenaje* allí excavados. Éstos constituyen geoformas incipientes que se expresan en el paisaje, superpuestas a las formas eólicas preexistentes. No se cuenta con edades numéricas que indiquen cuándo se comenzaron a generar estos cauces pero, tal como indican Zárate y Mehl (2010), se infieren episodios de excavación en tiempos recientes, quizás en el transcurso de los últimos 100 años (¿?). A pesar de la baja energía morfogenética del terreno, la gran cantidad de agua transportada por estos microcanales en épocas de precipitaciones abundantes o eventos extremos, invita a considerar la posibilidad de que la erosión hídrica continúe excavando estos canales en la actualidad.

En relación con lo anterior, el *escurrimiento superficial* en escala de detalle no siempre adopta dirección hacia el noreste, como indica la pendiente general de la cuenca. En muchos casos, la existencia de microelevaciones y fundamentalmente la presencia de dunas, modifican localmente las divisorias de aguas y alteran, por lo menos en algunos tramos, la orientación de los canales (orientándolos generalmente hacia el norte).

Por su parte, el *movimiento del agua subterránea*, tal como ocurre en otras zonas de llanura, depende de sistemas de flujo regionales, intermedios y locales superpuestos. En esta investigación no se analizan específicamente los sistemas de flujo, pero las observaciones realizadas en la dinámica de los piezómetros instalados permiten pensar que, en momentos de excesos hídricos, los microcanales de drenaje se comportan como pequeños arroyos influentes. De esta manera, generarían un flujo subterráneo lateral local desde los canales hacia otros sitios, fluyendo de manera transversal a la dirección de flujo regional y generando recargas puntuales. Por su parte, las cubetas de deflación constituyen zonas tanto de acumulación de agua superficial como de descarga freática, dependiendo de las condiciones hidrológicas del momento. Las mediciones realizadas evidencian que todos los elementos del paisaje, excepto las dunas parabólicas, sufren ascensos del nivel freático que alcanzan la profundidad de exploración radical, por lo que los pastizales que allí habitan están sometidos a condiciones de saturación por lo menos en algún momento del año. Dependiendo de la posición topográfica relativa, varía



la frecuencia y duración de la condición de saturación. De esta manera, tanto la matriz del paisaje con sus geoformas incipientes como las cubetas de deflación estarían actuando temporariamente como humedales, respondiendo conjuntamente como un macrosistema de llanura de derrame.

Con respecto a la *hidroquímica*, los resultados obtenidos permiten inferir que la composición iónica del agua freática somera se encuentra fuertemente condicionada por las propiedades del suelo y los procesos de superficie, presentando alta variabilidad en distancias reducidas.

Es importante destacar aquí que la disposición de Unidades de Análisis y unidades de muestreo sobre *transectas con orientación sudeste-noroeste* tuvo como objetivo lograr independencia de la pendiente topográfica regional y la dirección preferencial de escurrimiento, tanto superficial como subterráneo, que es hacia el noreste. A pesar de trabajar en transectas perpendiculares a los gradientes ambientales regionales, se observaron diferencias apreciables entre Unidades de Análisis respecto a las alturas topográficas, a la alcalinidad del suelo y al contenido de iones en el agua freática. Específicamente, se reconoce un gradiente sureste-noroeste de aumento del contenido de iones en el agua freática y una disminución de las alturas topográficas, acompañado de una mayor proporción de suelos con alcalinidad desde la superficie. Los mencionados aumentos en la salinidad del agua y el pH del suelo en superficie no son homogéneos al interior de cada Unidad de Análisis, sino que la representatividad espacial de los sectores con estas características es mayor hacia el noroeste del área de estudio. Al respecto, se considera que el gradiente observado en la alcalinidad del agua y del suelo podría tener relación, por un lado, con la existencia pasada de abanicos aluviales al norte del arroyo del Azul y, por otro, con el mayor espesor de la unidad litoestratigráfica 3 hacia el este de la PACCE, en el sector donde limita con la PACED.

## 5.2. Objetivo específico II

*Analizar la heterogeneidad de la vegetación en el sector de la cuenca seleccionado.*

En el ámbito de la PACCE, se reconocieron 4 de las 5 unidades de vegetación típicas de los paisajes de la Pampa Deprimida propuestas por Perelman *et al.* (2001). Tal como ocurre en el resto de la región, una gran proporción de la heterogeneidad de los pastizales se manifiesta en áreas pequeñas en toda su extensión, a pesar de la existencia de gradientes climáticos que se desarrollan a gran escala. A su vez, muchas de las especies vegetales identificadas se registraron en menos del 10% de las unidades muestrales, lo cual también coincide con la gran cantidad de especies raras que suelen establecerse en los pastizales pampeanos.

La clasificación jerárquica construida a partir de datos florísticos para la identificación de conjuntos de unidades muestrales permitió reconocer 4 grupos, cada uno de ellos asociado a una unidad de vegetación: praderas húmedas, praderas húmedas de mesófitas, praderas de mesófitas y estepas de halófitas. Las estepas húmedas de halófitas, comunidades propias de valles fluviales y canales de marea pobremente drenados, no se encuentran representadas en el área de estudio. El bajo porcentaje de similitud en el cual se produce el punto de corte para la obtención de los grupos mencionados pone de manifiesto las grandes diferencias en composición florística que presentan las unidades consideradas. El mantenimiento de estas diferencias, propias de los pastizales de la Pampa Deprimida, es posible gracias a que en los establecimientos analizados se realiza un manejo rotativo de la carga animal en momentos estratégicos que previene el deterioro del pastizal y la homogeneización de su flora, consecuencia típica del sobrepastoreo.

Por otro lado, la secuencia de encadenamiento en el cluster mostró que el grupo 1 (asociado a las praderas húmedas) es el último en fusionarse con los restantes. Esto refleja la mayor diferenciación en composición florística que presentan estos sitios, lo cual estaría asociado a su posición deprimida en el paisaje y a la mayor cantidad de agua que reciben por escurrimiento superficial, limitando el establecimiento de la mayoría de las especies vegetales. Paralelamente, las diferencias florísticas entre estos sitios y los demás elementos del paisaje estarían reflejando su funcionamiento como verdaderos humedales dentro de la matriz llana.

La heterogeneidad propia de la Pampa Deprimida, se expresa aún en áreas pequeñas y se debe a que sus pastizales están constituidos por un mosaico de comunidades herbáceas. La escala de análisis utilizada en esta investigación, y la aplicación de muestreos en transectas, permitió poner de manifiesto la alta *tasa de reemplazo de especies* que acontece en distancias muy reducidas. Al igual que en el resto de la región, la similitud entre unidades muestrales contiguas es en general inferior al 30%. Así, cada sitio donde se establece una determinada asociación de especies ocupa dimensiones relativamente muy pequeñas en el espacio, lo cual aumenta la relación perímetro/área de cada sitio, haciendo que los efectos de masa sean más significativos. Al mismo tiempo, no se evidencia que haya diferenciación de comunidades con el incremento de la distancia geográfica, sino que en pocos metros las asociaciones de especies se van sucediendo, reemplazando y repitiendo.

Acompañando a la alta tasa de reemplazo de especies en distancias reducidas, la *diversidad alfa* calculada para las unidades de muestreo es sumamente heterogénea en cuanto a su distribución espacial, tanto para los índices de riqueza como para la diversidad de Shannon-Wiener. A pesar de esto, la diversidad alfa es similar para las unidades de muestreo incluidas en cada uno de los 4 grupos. De forma general, las unidades correspondientes a las praderas de mesófitas y praderas húmedas de mesófitas

son las que presentan valores más elevados, mientras que las praderas húmedas y estepas de halófitas registran baja diversidad alfa.

A pesar de que los pastizales analizados son sumamente heterogéneos y presentan una alta tasa de reemplazo de especies en pocos metros, en esta investigación se analizó la *representatividad espacial de asociación de especies vegetales*, de forma tal que se evidencie la manera en que se manifiestan en el espacio geográfico. Los resultados obtenidos muestran que la representatividad espacial de cada asociación no es homogénea en el área de estudio, sino que la proporción de unidades de muestreo con vegetación halófitas aumenta hacia el noroeste del área de estudio.

El método de muestreo elegido, con la disposición de unidades muestrales a intervalos regulares sobre transectas, permitió identificar y analizar los *sitios intermedios en cuanto a su composición florística*. Para poner de manifiesto la naturaleza de los mismos, se utilizaron las especies y combinaciones con valor indicador significativo para los 4 grupos de unidades muestrales previamente conformados a partir de clasificaciones jerárquicas. De esta manera, se evidenció que las unidades de muestreo consideradas intermedias comparten especies con sus vecinas, registrándose combinaciones significativas para más de un grupo, aunque en todos los casos en baja proporción.

La búsqueda de especies y combinaciones con valor indicador significativo para los grupos de unidades muestrales resultó muy útil para el análisis de los sitios intermedios. Al respecto, es interesante destacar que para el grupo 4 se consideró casi la totalidad de las combinaciones posibles, y que el promedio de IndVal para todas ellas es superior al 80%. Esto no ocurre en los demás grupos (donde se evaluó aproximadamente en 30% de las combinaciones, con valores de IndVal promedio de alrededor de 60%) y constituye una clara manifestación de la identidad de la asociación de especies correspondientes a las estepas de halófitas, al mismo tiempo que robustece el uso de sus combinaciones como criterio para analizar la naturaleza de las unidades muestrales intermedias.

La gran mayoría de las unidades muestrales intermedias presenta especies y combinaciones propias de las praderas húmedas de mesófitas, lo cual indicaría la gran amplitud de nicho que exhiben las especies que conforman esta asociación y la alta proporción de ambientes en el área seleccionada con probabilidades de anegamientos temporarios. Al mismo tiempo, la presencia de estas especies estaría reflejando el funcionamiento de todo el área como un macrosistema de humedales, tal como lo plantean Kandus *et al.* (2011) para la Pampa Deprimida. Por otro lado, en las unidades muestrales intermedias ubicadas hacia el noroeste del área de estudio, se registró una mayor proporción de especies indicadoras para el grupo 4, que se corresponde con las estepas de halófitas.

### 5.3. Objetivo específico III

*Inferir la estructura general del paisaje en el área estudiada en base a sus elementos constituyentes y sus zonas ecotonales, a partir del análisis de la heterogeneidad geomorfológica, hidrológica y florística.*

El sello distintivo de un paisaje es el patrón generado por los procesos que suceden a diferentes escalas (Urban *et al.*, 1987), y es por esta razón que quien pretenda entender, al menos en un cierto grado, cuestiones tales como el desarrollo y la dinámica de un ecosistema, o el rol que cumplen los disturbios en un determinado ambiente, debe aceptar la complejidad inherente. Dicha aceptación implica a su vez una firme intención por simplificar tal complejidad.

Las características ambientales consideradas permiten dar cuenta que la *heterogeneidad manifestada en las asociaciones de especies vegetales* se relaciona con las gradaciones geomorfológicas. La composición de especies responde a variaciones locales en la topografía y la alcalinidad y, de esta manera, el arreglo espacial de la vegetación acompaña las geoformas existentes. Los resultados obtenidos constituyen evidencias de lo anterior y permiten postular que, en el ámbito de la PACCE, se establece una alta correlación entre las gradaciones ambientales y florísticas, no así con las distancias geográficas.

Particularmente, en el área de estudio, las diferencias en composición florística están asociadas a la acumulación de agua en superficie por largos periodos y a la alcalinidad superficial del suelo. Las praderas húmedas de mesófitas se ubican en microcanales de drenaje y vías preferenciales de escurrimiento, es decir, en aquellos sitios más deprimidos del paisaje (excluyendo a las cubetas de deflación), a diferencia de lo que ocurre en otros ambientes de la Pampa Deprimida donde, tal como lo plantean Perelman *et al.* (2001), esta unidad de vegetación se localiza en áreas planas de posiciones topográfica media. Por su parte, las estepas de halófitas, tradicionalmente relacionadas a pequeñas depresiones en áreas planas o a anillos alrededor de áreas húmedas (Perelman *et al.*, 2001), aquí se localizan en posiciones topográficas medias, siempre dentro de la PACCE.

En el paisaje analizado, la PACCE propiamente dicha constituye el elemento más extenso y continuo, por lo cual es considerada la matriz del paisaje. Las dunas parabólicas, cubetas de deflación, microlomas y microcanales de drenaje, constituyen elementos discretos y limitados, inmersos en la matriz, que actúan como parches o corredores. Dichos elementos son identificables y diferenciables de la matriz que los rodea por sus características geomorfológicas, ya sea por su momento de formación o por su agente formador. Al mismo tiempo, entre los elementos del paisaje mencionados y la matriz es donde se registran las diferencias florísticas más grandes.

Las unidades de muestreo localizadas en la PACCE (luego de excluir las ubicadas en dunas parabólicas, cubetas de deflación, microcanales de drenaje y microlomas) se corresponden con estepas de halófitas y sitios intermedios. Constituyen un conjunto de unidades caracterizadas por el pH alcalino desde superficie (más de 7,5) y la posición topográfica media. A este nivel de detalle, las pequeñas diferencias entre las unidades de muestreo están dadas por la alcalinidad del suelo (más débil o más fuerte), siendo la cuestión a resolver cómo se originó la alcalinidad y qué procesos geomorfológicos generaron su disposición heterogénea en el espacio.

Los sitios intermedios ubicados en la PACCE comparten características florísticas y ambientales con sus vecinos. De forma general, las unidades muestrales consideradas intermedias en composición florística se ubicaron en bordes de cubetas de deflación y microcanales, además de en flancos de dunas y microlomas, manifestándose como zonas de tensión o transición con los elementos del paisaje vecinos (dunas, cubetas de deflación, microlomas, microcanales de drenaje).

Lo anterior evidencia cómo se solapan las características de los distintos elementos del paisaje generando, al mismo tiempo, zonas de tensión de naturaleza variable. De esta manera, la disposición superpuesta de los diferentes elementos del paisaje, originados a distintas escalas espaciales y temporales, provoca que se manifiesten sitios intermedios y que sea posible, en mayor o menor medida, trazar los límites y registrar zonas que actúan como ecotonos en pequeña escala.

El trazado de límites a esta escala es una tarea compleja, no solo por la extensión de los elementos del paisaje analizado, sino también por la variabilidad temporal que pueden presentar los mismos. Las oscilaciones climáticas que operan a escala regional y son homogéneas para toda el área estudiada, provocan alteraciones en la estructura del paisaje como consecuencia de la modificación de los límites de algunos de sus elementos. La alternancia de periodos de déficit o excesos hídricos cambia la extensión de cubetas y canales de drenaje, al mismo tiempo que modifica la humedad edáfica. Lo anterior genera que se alteren temporalmente las condiciones microambientales y ciertas especies puedan colonizar sitios donde antes se presentaban limitaciones para su desarrollo, lo cual modifica los límites de los elementos de paisaje y, consecuentemente, las zonas de tensión.

La Teoría de las Jerarquías es el fundamento que permitió desentrañar la complejidad del paisaje analizado a partir de considerar que el patrón está organizado en componentes y eventos que ocurren a diferentes escalas y que están positivamente correlacionados en tiempo y espacio. El paradigma jerárquico permite focalizar sobre un evento en una escala particular, al mismo tiempo que reconoce que hay otras escalas relevantes para ese mismo evento (una inferior que le provee sus componentes, y una superior que le provee el contexto). Estos fundamentos resultaron medulares al

momento de elaborar un marco teórico a partir del cual sedesmenuce el paisaje del área de interés y así construir un modelo conceptual de su estructura.

En el área de estudio de esta investigación, se manifiesta cómo los factores que operan en *niveles jerárquicos superiores restringen a los inferiores*: principalmente, los procesos geomorfológicos que operaron y operan en escalas espaciales y temporales amplias, limitan el establecimiento de las comunidades vegetales por las condiciones ambientales que generan localmente.

Independientemente de la escala temporal, en el paisaje se evidencia que los elementos reconocidos a escalas amplias (como las dunas parabólicas y las cubetas de deflación) imponen restricciones ambientales similares a las producidas por aquellos elementos geomorfológicos sólo observables en escalas espaciales más reducidas (como las microlomas y los microcanales de drenaje).

Por otro lado es interesante destacar que, en la escala analizada, fue posible identificar en la PACCE la matriz del paisaje y sus elementos discretos, con límites reconocibles y zonas de transición entre ellos. Sin embargo, si se considera la PACCE en el contexto de la cuenca del arroyo del Azul, toda su extensión puede ser considerada un área de tránsito entre el área serrana y los sectores distales de la cuenca (a través de la cual se desplazaron los depósitos aluviales actualmente observados en la PAA), es decir, una zona de tensión o ecotono. A una escala aún más amplia, si se analiza la Ecorregión Pampa, el sector inferior de la cuenca del arroyo del Azul podría ser considerado un área de transición entre las Sierras Bonaerenses y la Pampa Deprimida propiamente dicha. La existencia de dunas y zonas de derrame sólo se registra en el área periserrana, y no así en el resto de la depresión.

El estudio de los paisajes, por definición, implica aceptar que el ruido producido por la variación espacial constituye una característica intrínseca de los ecosistemas naturales. Las zonas de tensión, que se manifiestan a diferentes escalas espaciales y temporales, son una evidencia de lo anterior. Así, para construir el modelo conceptual de la estructura general del paisaje, es necesario establecer una escala de análisis focalizada en una matriz de anclaje y, a la vez, considerar lo que ocurre en niveles superiores e inferiores. Esto implica, además, que el estudio de los sistemas ambientales complejos no permanezca confinado a una disciplina, sino que se consideren simultáneamente variables que integren diferentes matrices de datos, entre las cuales se establezca una dialéctica al momento de su análisis.

## Capítulo N° 6: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

### 6.1. Conclusiones

El estudio del paisaje en base a sus elementos constituyentes y las transiciones entre ellos en un sector de la cuenca inferior del arroyo del Azul, se ha abordado desde un enfoque sistémico e integral, a fin de comprender la estructura del paisaje y proponer explicaciones sobre la heterogeneidad que aquí se manifiesta.

#### Hipótesis 1:

*En el sector más llano de la cuenca del arroyo del Azul el paisaje está conformado por diferentes elementos que se reconocen por la estructura de su comunidad vegetal, la cual es producto de la combinación de propiedades crípticas del paisaje, destacándose las características geomorfológicas e hidrológicas.*

Varios aspectos discutidos en la presente investigación permiten que ciertos aspectos de esta hipótesis sean aceptados, mientras que otros deberían reformularse:

Los resultados indican que la estructura de las comunidades vegetales es producto de las restricciones impuestas por las propiedades crípticas del paisaje, destacándose las características de los suelos y del drenaje. Esto se desprende de la alta correlación existente entre las variables ambientales consideradas y la composición florística de los sitios analizados.

Los elementos del paisaje identificados previamente al análisis de la vegetación se diferencian claramente tanto en la estructura de su comunidad vegetal como en sus características geomorfológicas. Paralelamente, el estudio en detalle de la vegetación permitió diferenciar otras geoformas incipientes no consideradas originalmente.

Sin embargo, algunos de los elementos del paisaje geomorfológico que se reconocen en el área de estudio no se diferencian exclusivamente a partir de su composición florística. Este es el caso de las dunas parabólicas y las microlomas, donde habitan comunidades vegetales consideradas del mismo tipo. Esto se explica porque ambas geoformas imponen restricciones ambientales similares para el establecimiento de la vegetación, a pesar de ser elementos con distinto origen y función en el paisaje.

De lo anterior se desprende que la identificación de elementos a partir del uso de la vegetación como indicadora debe complementarse con el análisis de las formas del terreno y las vías de escurrimiento a escala de mayor detalle, a fin de discriminar entre elementos con similar ensamble de especies pero con distinta función respecto al drenaje por las condiciones que generan en sectores vecinos.

### Hipótesis 2:

*En el sector analizado, en escala de detalle, existen zonas transicionales o ecotonos en las cuales se solapan diferentes atributos del paisaje, de manera gradual o abrupta, y donde en muchos casos es posible reconocer ambientes con un conjunto de características únicas definidas por las interacciones entre los sistemas ecológicos adyacentes.*

El análisis de las transiciones entre elementos del paisaje en esta investigación permite aceptar parcialmente dicha hipótesis.

Las zonas de tensión entre elementos tienen expresión espacial reducida, por lo que sólo pueden reconocerse a partir del análisis detallado. En estos sitios, en general, las propiedades crípticas del paisaje, como los atributos del suelo o del escurrimiento superficial, se solapan de manera abrupta. Esto sucede en concordancia con la alta tasa de reemplazo de especies que ocurre en distancias cortas.

Las características geomorfológicas e hidrológicas de las zonas de tensión están definidas por los atributos de sus elementos vecinos, por lo que en general en estos sitios se registran valores intermedios de las variables ambientales consideradas. En cuanto a su composición florística, las asociaciones de especies vegetales presentes en estos sitios son heterogéneas, respondiendo tanto a la influencia de los elementos vecinos como al aporte de propágulos desde zonas más distantes. De esta manera, la diversidad beta propia de este paisaje responde conjuntamente a la diversidad de hábitats y al efecto de masa generado por la capacidad de dispersión de las especies propias del pastizal.

### Hipótesis 3:

*La heterogeneidad del paisaje está dada por la disposición alternada de sus elementos constituyentes y las transiciones entre los mismos, producto de atributos subyacentes del sistema.*

El análisis de la heterogeneidad del paisaje en la cuenca inferior del arroyo del Azul llevado a cabo en la presente investigación permite aceptar esta hipótesis.

Aquí, el patrón del paisaje queda definido por la disposición no azarosa de elementos discretos, entre los cuales se manifiestan zonas de tensión de extensión espacial reducida.

La presencia de geoformas generadas en distintos momentos por procesos tanto de acumulación como de erosión (eólica o fluvial) controla la heterogeneidad observada en



el paisaje. Estos procesos han ocurrido a escalas espaciales y temporales variables, condicionados fuertemente por las oscilaciones climáticas regionales pasadas y presentes. Así, el origen del patrón observado en el paisaje actual es producto de procesos geomorfológicos ocurridos durante el Pleistoceno-Holoceno.

De esta manera, tal como ocurre en los sistemas jerárquicos, el patrón que generan los elementos geomorfológicos en el paisaje restringe y condiciona la disposición en el espacio de las comunidades vegetales que se disponen alternadamente en concordancia con las gradaciones ambientales.

## **6.2. Líneas futuras de investigación**

A partir de los resultados obtenidos y de las conclusiones derivadas de esta investigación, sería de interés indagar acerca de las siguientes cuestiones:

- Origen y función de dunas longitudinales y parabólicas, tanto en el sector inferior de la cuenca como en otras áreas de la Pampa Deprimida.
- Formación de microlomas reconocidas en campo, y la posible participación de la biota en la redistribución de materiales en el terreno.
- Posible continuidad en la excavación de microcanales de drenaje durante eventos extremos en la actualidad.
- Origen de la alcalinidad en la PACCE y procesos geomorfológicos generaron su disposición heterogénea en el espacio.
- Límites entre las unidades geomorfológicas reconocidas en la cuenca inferior (PACCE, PACED y PAA) y naturaleza de las transiciones entre las mismas.
- Transiciones entre elementos del paisaje y la planicie circundante a escala de detalle fuera del ámbito de la PACCE, y su contraste con los resultados obtenidos en esta investigación.
- Posición topográfica relativa de las asociaciones de especies vegetales reconocidas en otros sectores de la cuenca inferior.
- Cambios en la estructura del paisaje, especialmente en las zonas de tensión, en condiciones hidrológicas extremas.
- Relación entre la expresión morfológica y florística de los elementos del paisaje y el gradiente de alcalinidad/salinidad en el agua freática somera existente en el sector inferior de la cuenca del Azul.
- Naturaleza de la PACCE como zona de tensión entre el dominio serrano y los sectores distales de la cuenca, aplicando el modelo de jerarquías.

- Uso de combinaciones de especies vegetales como indicadores de las propiedades crípticas del paisaje en otros sectores de la Pampa Deprimida, a fin de extrapolar los resultados aquí encontrados.
- Utilización de la vegetación como indicadora para el análisis de la conectividad hidrológica en paisajes de llanuras.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Allen, T.F.H. & Starr, T.B. 1982. *Hierarchy. Perspectives for ecological complexity*. University of Chicago Press, Chicago.
- Anderson, M.J.; Ellingsen, K.E. & McArdle, B.H. 2006. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters* 9: 683-693.
- Anderson, M.A.; Crist, T.O.; Chase, J.M.; Vellend, M.; Inouye, B.D.; Freestone, A.L.; Sanders, N.J.; Cornell, H.V.; Comita, L.S.; Davies, K.F.; Harrison, S.P.; Kraft, N.J.B.; Stegen, J.C. & Swenson, N.G. 2011. Navigating the multiple meanings of  $\beta$  diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters* 14:19-28.
- APHA. American Public Health Association. 2005. *Standard methods for the examination of water and waste water*. 21st edition. Washington, DC. USA.
- Batista, W.B.; León, R.J.C. & Perelman, S.B. 1988. Las comunidades vegetales de un pastizal natural de la Región de Laprida, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Phytocoenologia*, 16: 465-480.
- Batista, W.B. 1991. *Correspondencia entre comunidades vegetales y factores edáficos en el pastizal de la Pampa Deprimida (Argentina)*. Tesis de Magister Scientiae. Escuela para Graduados Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. UBA.
- Batista, W.B. & León, R.J.C. 1992. Asociación entre comunidades vegetales y algunas propiedades de los suelos en el centro de la Depresión del Salado. *Ecología Austral*, 2: 47-55.
- Batista, W.B.; Taboada, M.A.; Lavado, R.S.; Perelman, S.B. & León, R.J.C. 2005. Asociación entre comunidades vegetales y suelos en el pastizal de la Pampa Deprimida. En: *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas: un homenaje a Rolando J.C. León*, Oesterheld, M; Aguiar, M.R.; Ghera, C.M. y Paruelo, J.M. (comp.). Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires.
- Beals, E.W. 1984. Bray-Curtis ordination: an effective strategy for analysis of multivariate ecological data. *Advances in Ecology Research* 14: 1-55.
- Bertalanffy, L. Von. 1968. *General systems theory, foundations, development and applications*. Brazillier, New York (traducción en FCE, Madrid, 1976).
- Belsky, A.J. 1983. Small-scale pattern in grassland communities in the Serengeti National Park, Tanzania. *Vegetatio* 55: 141-151.
- Bilenca, D. & Miñarro, F. 2004. *Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires.
- Blair, J.; Nippert, J. & Briggs, J. 2014. Grassland Ecology. In: *Ecology and the Environment*, Monson, R.K. (ed.). The Plant Sciences. Springer Science + Business Media, New York.
- Burgos, J.J. & Vidal, A.L. 1951. *Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornwaite*. Serie agroclimática. Publ. N° 3. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires.
- Burkart, A. (director). 1969-2005. *Flora ilustrada de Entre Ríos*. Partes, II, III, IV, V y VI. Colección Científica INTA. Tomo 6. Buenos Aires.

- Burkart, S.E.; León, R.J.C. & Movia, C.P. 1990. Inventario fitosociológico del pastizal de la Depresión del Salado (Prov. Bs. As.) en un área representativa de sus principales ambientes. *Darwiniana*, 30: 27-69.
- Burkart, S.E.; León, R.J.C.; Perelman, S.B. & Agnusdei, M. 1998. The grasslands of the Flooding Pampa (Argentina): floristic heterogeneity of natural communities of the southern Río Salado basin. *Coenoses*, 13: 17-27.
- Cabrera, A.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 14: 1-42.
- Cabrera, A. L. (director). 1963-1970. *Flora de la provincia de Buenos Aires*. Partes I, II, III, IV, V y VI. Colección Científica INTA. Tomo 4. Buenos Aires.
- Cabrera, A.L. & Zardini, E.M. 1978. *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires*. Editorial ACME. Buenos Aires.
- Cadenasso, M.L.; Pickett, S.T.A.; Weathers, K.C. & Jones, C.G. 2003. A Framework for a Theory of Ecological Boundaries. *Bioscience*, 53: 750-758.
- Camarero, J.J. & Fortin, M.J. 2006. Detección cuantitativa de fronteras ecológicas y ecotonos. *Ecosistemas* 15 (3): 76-87.
- Chaneton, E.J.; Facelli J.M. & León R.J.C. 1988. Floristic changes induced by flooding on grazed and ungrazed lowland grasslands in Argentina. *Journal of Range Management* 41: 497-501.
- Chaneton, E.J. & Facelli, J.M. 1991. Disturbance effects on plant community diversity: spatial scales and dominance hierarchies. *Vegetatio*, 93: 143-155.
- Chaneton, E.J.; Perelman, S.B.; Omacini, M. & León, R.J.C. 2002. Grazing, environmental heterogeneity, and alien plant invasions in temperate pampa grasslands. *Biological Invasions* 4: 7-24
- Chaneton, E.J. 2005. Factores que determinan la heterogeneidad de la comunidad vegetal en diferentes escalas espaciales. In: *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas: un homenaje a Rolando J.C. León*, Oesterheld, M; Aguiar, M.R.; Ghera, C.M. y Paruelo, J.M. (comp.). Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires.
- Christofoletti, A. 1998. Perspectivas para el análisis de la complejidad y la autoorganización en sistemas geomorfológicos. In: *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*, Matteucci, S.D. y Buzai, G.D. (eds.). Eudeba. Buenos Aires.
- Cingolani, C.A. 2005. Unidades morfoestructurales (y estructuras menores) de la provincia de Buenos Aires. In: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*, de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O.; Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.). Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata.
- Clements, F.C. 1905. *Research Methods in Ecology*. University Publishing Co., Lincoln, Nebraska.
- Clements, F.C. 1916. *Plant succession. An analysis of the development of vegetation*. Cangerie Institute, Publication 242, Washington.

- Clements, F.C. 1928. *Plant succession and indicators*. H.W. Wilson, New York.
- Correa, M. (director). 1969-1999. *Flora patagónica*. Partes II, III, IV, V, VI y VII. Colección Científica INTA. Tomo 8. Buenos Aires.
- Costanza, R.; d'Arge, R. & deGroot, R. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Crawley, M.J. 1996. The structure of plant communities. En: Crawley, M.J. (ed), *Plant ecology*. Blackwell Science, Oxford.
- Crawley, M.J. & Harral, J.E. 2001. Scale dependence in plant biodiversity. *Science* 291: 864-868.
- Cully Hession, W.; Curran, J.; Resler, L. & T. Wynn. 2010. Preface: Geomorphology and vegetation: Interactions, dependencies, and feedback loops. *Geomorphology* 116, 203-205.
- Curran, J. 2010. Mobility of large woody debris jams in a low gradient channel. *Geomorphology* 116, 320-329.
- Dangavs, N.V. 2005. Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. In: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*, de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O.; Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.). Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata.
- Dangavs, N.V. & Blasi, A.M. 1995. El Lujanense y el Platense (sensu Ameghino) en el Río Luján, Luján, Provincia de Buenos Aires. *IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses* 1, 109-117.
- Dangavs, N.V. & Blasi, A.M. 2002. Los depósitos de yeso intrasedimentario del arroyo El Siasgo, partidos de Monte y General Paz, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(3): 315-327.
- Dangavs, N.V. & Reynaldi, J.M. 2008. Paleolimnología de la Laguna Cerrillo del medio, Monte, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (1): 29-42.
- De Cáceres, M. & Legendre, P. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90(12): 3566-3574.
- De Cáceres, M.; Legendre, P. & Moretti, M. 2010. Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119(10): 1674-1684.
- De Cáceres, M.; Legendre, P.; Wiser, S. & Brotons, L. 2012. Using species combinations in indicator value analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 973-982.
- De Cáceres, M. & Jansen, F. 2015. Relationship between species and group of sites ("indicspecies" R package - version 1.7.5).
- Di Castri, F.; Hansen, A.J. & Holland, M.M. 1988. A new look at ecotones: emerging international projects on landscape boundaries. *Biology International* (special issue) 17: 1-163.
- Dietrich, W. 2008. *Geomorphology: the shock of the familiar*. Langbein Lecture, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, CA.

- Dray, S.; Dufour, A. & Thioulouse, J. *Analysis of Ecological Data: Exploratory and Euclidean Methods in Environmental Sciences*. Package: ade4. Version: 1.7-4. Disponible en (último acceso enero de 2018): <https://cran.r-project.org/web/packages/ade4/index.html>
- Dufrene, M. & Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.
- Entraigas, I. 2008. *Implementación de sistemas de soporte de decisiones multipropósito a escalas urbana y rural*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
- Entraigas, I.; Migueltorena, M.V.; Argañaraz, J.; D'Alfonso, C. y Scaramuzzino, R. 2011. Análisis de la heterogeneidad interna de la vegetación en bajos alcalinos con diferentes presiones de uso pasturil en la cuenca del Arroyo del Azul (Bs. As, Argentina). *Libro de resúmenes de las III Jornadas Argentinas de Ecología de Paisajes*. Bariloche.
- Entraigas, I.; Vercelli, N.; Carretero, N.; Chiramberro, S. y de Dominicis, H. 2013. Influencia de los anegamientos prolongados en la composición florística del pastizal natural en la cuenca baja del arroyo del Azul. *Libro de resúmenes de las IV Jornadas y I Congreso Argentino de Ecología de Paisajes*. San Pedro, Buenos Aires.
- Entraigas, I.; Vercelli, N.; Ares, M.G.; Varni, M. & Zeme, S. 2017. Flooding effects on grassland species composition in the Azul creek basin, Argentina. *The Rangeland Journal*, April 2017. DOI: 10.1071/RJ16034
- EPA. United States Environmental Protection Agency. 2001. QA/G-6 *Guidance for preparing Standard Operating Procedures (SOPs)*.
- Facelli, J.M. 1988. Response to grazing after nine years of cattle exclusion in a flooding Pampa grassland, Argentina. *Vegetatio*, 78: 21-25.
- Farina, A. 2006. *Principles and methods in landscape ecology. Toward a Science of Landscape*. Springer. The Netherlands.
- Ferrer, J.A. & Panigatti, J.L. inédito, 2010. En: Panigatti, J.L. 2010. *Argentina 200 años, 200 suelos*. Ed. INTA. Buenos Aires.
- Fidalgo, F. 1983. Algunas características de los sedimentos superficiales en la cuenca del Río Salado y en la Pampa Ondulada. En: *Hidrología de las grandes llanuras*, Fuschini Mejia, M.C. (ed.). *Actas del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras*, 1045-1067. Olavarría, Buenos Aires.
- Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. Wiley & Sons, New York.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge Academic Press, Cambridge.
- Forman, R.T.T. & Moore, P.N. 1992. Theoretical foundations for understanding boundaries in landscape mosaics. In: *Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. Hansen, A. J. & Di Castri, F. Springer-Verlag, New York.
- Fortin, M.J. 1994. Edge detection algorithms for two-dimensional ecological data. *Ecology* 75: 956-965.

- Fortin, M.J. 1997. Effects of data types on vegetation boundary delineation. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 1851-1858.
- Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II (33), La Plata.
- Frenguelli, J. 1957. Neozoico. En: *Geografía de la República Argentina*. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA) 2, 3ª parte: 1-113. Buenos Aires.
- Fuschini Mejía, M.C. (ed.). 1984. *Hidrología de las grandes llanuras*. Actas del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Vol. 2. Olavarría, Buenos Aires.
- Fuschini Mejía, M.C. 1994. *El agua en las llanuras*. Programa Hidrológico Internacional. UNESCO.
- Garreaud, R.D.; Vuille, M.; Compagnucci, R. & Marengo, J. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 180-195.
- Gerard, M.; El Kahloun, M.; Mertens, W.; Verhagen, B. & Meire, P. 2008. Impact of flooding on potential and realized grassland species richness. *Plant Ecology* 194: 85-98. DOI:10.1007/s11258-007-9276-y
- Gibson, D.J. 2009. *Grasses and grassland ecology*. Oxford University Press, New York.
- Gibson, D.J. & Hulbert, L.C. 1987. Effects of fire, topography and year to year climatic variation on species composition in tallgrass prairie. *Vegetatio* 72: 175-185
- Gleason, H.A. 1917. The Structure and Development of the Plant Association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. Vol. 44, No. 10: 463-481.
- Gleason, H.A. 1926. The Individualistic Concept of the Plant Association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. Vol. 53, No. 1: 7-26.
- Gleason, H.A. 1927. Further Views on the Succession-Concept. *Ecology* 8(3): 299-326.
- González Bernáldez, F. 1981. *Ecología y Paisaje*. Blume Ediciones. Madrid.
- Goodall, D. W. 1963. The continuum and the individualistic association. *Vegetatio* 11: 297-316.
- Green, B.H.; Simmons, E.A. & Woltjer, I. 1996. *Landscape conservation. Some steps towards developing a new conservation dimension*. A draft report of the IUCN-CESP landscape Conservation Working Group. Department of Agriculture, Horticulture and Environment, Wye College, Kent, UK.
- Greig-Smith, P. 1979. Pattern in vegetation. *Journal of Ecology* 67: 755-779.
- Hansen, A. J. & Di Castri, F. 1992. *Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. Springer-Verlag, New York.
- Hardy, R.J. 2006. Fluvial geomorphology. *Progress in Physical Geography* 30 (4), 553-567.
- Hernández, M.A.; Filí, M.; Auge, M. & Ceci, J.H. 1979. Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires. En: *Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino* (II), 479-500. Buenos Aires.
- Hill, M. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54: 427-432.

- Holberg, H. & Bischoff, H.M. 1980. Flooding tolerance yield and feed quality of some grasses in a model experimental with simulated flood. *Archiv für Acker - und Pflanzenbau und Bodenkunde* 244: 513-521.
- Hupp, C.R.; Osterkamp, W.R. & Howard, A.D. 1995. *Biogeomorphology - Terrestrial and Freshwater Systems*. Elsevier, Amsterdam.
- Hupp, C.R. & Bornette, G. 2003. Vegetation, fluvial processes and landforms in temperate areas. In: *Tools in Geomorphology*, Piegay, H. & Kondolf, M. (eds.). Wiley & Co. Chichester.
- Hupp, C.R. & Osterkamp, W.R. 2013. Vegetation ecogeomorphology, dynamic equilibrium, and disturbance. In: *Treatise on Geomorphology*, Shroder, J.; Butler, D.R. & Hupp, C.R. (eds.), vol.12. Academic Press. San Diego, CA.
- Hurtado, M.A.; Moscatelli, G.N. & Godagnone, R.E. 2005. Los suelos de la provincia de Buenos Aires. In: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*, de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O.; Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.). *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata.
- IGN. 2018. Instituto Geográfico Nacional. Información Geográfica de la República Argentina: límites, superficies y puntos extremos. Disponible en (último acceso enero de 2018): <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/LimitesSuperficiesyPuntosExtremos>
- Instituto Nacional del Agua. 2002. *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina*. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación.
- Imbellone, P.; Giménez, J.E. & Panigatti, J.L. 2010. *Suelos de la Región Pampeana. Procesos de Formación*. Ed. INTA. Buenos Aires.
- Insausti, P. & Soriano, A. 1987. Efecto del anegamiento prolongado en un pastizal de la Depresión del Salado (provincia de Buenos Aires - Argentina): dinámica del pastizal en conjunto y de *Ambrosia tenuifolia*. *Darwiniana* 28: 397-403.
- Insausti, P.; Soriano, A. & Sánchez, R.A. 1995. Effect of flood-induced factors on seed germination of *Ambrosia tenuifolia*. *Oecologia* 103: 127-132. DOI: 10.1007/BF00328433
- Insausti, P. 1996. *Respuestas estructurales y funcionales a las inundaciones de un pastizal de la Depresión del Salado (prov. de Buenos Aires)*. Tesis de Maestría. Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Insausti, P.; Chaneton, E.J. & Grimoldi, A. 2005. Las inundaciones modifican la estructura y dinámica de la vegetación en los pastizales de la Pampa Deprimida. In: *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas: un homenaje a Rolando J.C. León*, Oesterheld, M; Aguiar, M.R.; Ghersa, C.M. y Paruelo, J.M. (comp.). Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires.
- INTA. 1990. *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Escala 1:500.000 y 1:1.000.000. CIRN. Instituto de Evaluación de Tierras. Tomo I y II. Buenos Aires.
- INTA. 1992. *Cartas de Suelos de la República Argentina*. Hoja 3760-10 (Cacharí) y 3760-16 (Azul). Instituto de Suelos. Centro de Investigaciones en Recursos Naturales. INTA. Buenos Aires.



- Jackson, M. B., & Drew, M. 1984. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: Kozlowski, T.T. (ed.), *Flooding and Plant Growth*. Academic Press: Boca Raton, FL. pp. 10-42.
- Jobbágy, E.G.; Paruelo, J.M. & León, R.J.C. 1996. Vegetation heterogeneity and diversity in flatland mountain landscapes of Patagonia (Argentina). *Journal of Vegetation Science*, 7: 599-608.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113: 363-375.
- Jost, L. 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88 (10): 2427-2439.
- Kandus, P. Quintana, R.D.; Minotti, P.G.; Oddi, J.; Baigún, C.; González Trilla, G. & Ceballo, D. 2011. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. En: Laterra, P., Jobbágy, E.G. & Paruelo, J.M. *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA. Buenos Aires.
- Keylock, C. 2005. Simpson diversity and Shannon-Wiener index as special cases of generalized entropy. *Oikos* 109: 203-207.
- Kostler, A. 1969. Beyond atomism and holism – the concept of the holon. In: *Beyond reductionism: new perspectives in the life sciences*, Kostler, A. & Smithies, J.R. (eds.). Hutchinson, Londres.
- Krapovickas, S. & Di Giacomo, A.S. 1998. Conservation of pampas and campos grasslands in Argentina. *Parks* 8: 47-53.
- Kruse, E. 1992. *El agua subterránea y los procesos fluviales en la región centro-oriental de la Provincia de Buenos Aires*. Situación ambiental de la Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires, 2 (15): 13-31. La Plata.
- Kruse, E. & Laurencena, P. 2005. Aguas superficiales. Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento. In: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*, de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O.; Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.). *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata.
- Kruse, E. & Zimmermann, E.D. 2002. Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura Pampeana (Argentina). Workshop. Groundwater and Human Development. *XXXII IAH Congress*, 2025:2038. Mar del Plata.
- Lanceta, M. 2015. *Determinación mediante SIG de la superficie potencial ganadera en los cuarteles de la zona norte del partido de Azul*. Práctica Pre Profesional de Integración de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía, UNCPBA.
- Lanceta, M.; Entraigas, I.; de Dominicis, H. & Vercelli, N. 2016. Determinación de la superficie potencial ganadera a través del uso de sistemas de información geográfica. *Geofocus.: Asociación de Geógrafos Españoles*. Vol.18: 47-63.
- Lara B. & Gandini, M. 2011. Biogeografía de islas en fragmentos de pajonal del Paisaje Ariel (Azul, Buenos Aires, Argentina). *Rev. Asoc. Argent. Ecol. Paisajes* 2: 1-8.
- Laurencena, P. 1992. Análisis preliminar del escurrimiento fluvial de los arroyos Languayú, Chapaleoufú, de los Huesos y El Perdido. *III Jornadas Geológicas Bonaerenses*: 195-200.

- León, R.J.C.; Burkart, S.E. & Movia, C.P. 1979. *Relevamiento fitosociológico del Pastizal del Norte de la Depresión del Salado: la vegetación de la República Argentina*. Serie Fitogeográfica N°17. INTA. Buenos Aires.
- León, R.J.C.; Rusch, G.M. & Oesterheld, M. 1984. Pastizales pampeanos-impacto agropecuario. *Phytocoenologia* 12: 201-218.
- León, R.J.C. & Burkart, S.E. 1998. El pastizal de la Pampa Deprimida: estados alternativos. *Ecotropicos*, 11: 121-130.
- Legendre, P.; Borcard, D. & Peres-Neto, P.R. 2005. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological Monographs* 75: 435-450.
- Lewin, R. 1995. *Complejidad. El caos como generador del orden*. Tusquets, Barcelona.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton, NY.
- Maltchik, L.; Rolon, A.S. & Schott, P. 2007. Effects of hydrological variation on the aquatic plant community in a floodplain palustrine wetland of southern Brazil. *Limnology*, 8: 23-28. DOI: 10.1007/s10201-006-0192-y
- Marchetti, Z.; Latrubesse, E.; Pereira, M. & Ramonell, C. 2013. Vegetation and its relationship with geomorphologic units in the Parana River floodplain, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 46: 122-136.
- Margalef, R. 1991. *Teoría de los Sistemas Ecológicos*. Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Marino, G.D. 2008. *Buenas prácticas ganaderas para conservar la vida silvestre de las pampas: una guía para optimizar la producción y conservar la biodiversidad de los pastizales de la Bahía Samborombón y la Cuenca del Río Salado*. Coordinadores: Miñarro, F. y Stamatti, G. Aves Argentinas / Asociación Ornitológica del Plata. Coeditado con la Fundación Vida Silvestre Argentina y BirdLife International. Buenos Aires.
- Marston, R.A. 2010. Geomorphology and vegetation on hillslopes: Interactions, dependencies, and feedback loops. *Geomorphology* 116, 206-217.
- Martínez, G. 1998. Identificación de paisajes relictuales del Pleistoceno Tardío-Holoceno a partir de imágenes ópticas y de radar en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, ACTAS I: 103-109.
- Martínez, G.; Osterrieth, M. & Borrelli, N. 2000. Registro de la "Pequeña Edad de Hielo" en ambientes sedimentarios del sudeste bonaerense, Argentina. *II Congreso Latinoamericano de Sedimentología y VIII Reunión Argentina de Sedimentología*. Libro de Resúmenes, 113-114. Mar del Plata.
- Matteucci, S.D. & Colma, A. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C.
- Matteucci, S.D. 1998 a. El análisis regional desde la ecología. In: *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*, Matteucci, S.D. y Buzai, G.D. (eds.). Eudeba. Buenos Aires.

- Matteucci, S.D. 1998 b. La creciente importancia de los estudios del medio ambiente. In: *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*, Matteucci, S.D. y Buzai, G.D. (eds.). Eudeba. Buenos Aires.
- Matteucci, S.D. 1998 c. La cuestión del patrón y la escala en la ecología del paisaje y de la región. In: *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*, Matteucci, S.D. y Buzai, G.D. (eds.). Eudeba. Buenos Aires.
- Matteucci, S.D. & Colma, A. 1998. El papel de la vegetación como indicadora del ambiente. In: *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*, Matteucci, S.D. y Buzai, G.D. (eds.). Eudeba. Buenos Aires.
- Matteucci, S.D. 2012. Ecorregión Pampa. In: *Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos*, Morello, J.; Matteucci, S.D.; Rodríguez, A.F. & Silva, M. 1° Edición. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.
- Mc Cune, B. & Grace, J.B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Mc Kee, E.D. 1979. *A Study of Global Sand Seas*. U. S. Geological Survey, Professional Paper 1052: 3-19.
- Mc Kinney, M.L. & Lockwood, J.L. 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 450-453.
- Migueltoarena, M.V.; Entraigas, I.; Mestelán, S. & Lucero, L. 2011 a. Alkaline wetland ("peladares") biomasa production in the Arroyo del Azul basin. *IX International Rangeland Congress*. Libro de resúmenes.
- Migueltoarena, M.V.; Entraigas, I.; Lucero, L. & Mestelán, S. 2011 b. Caracterización de la vegetación de los "peladares" presentes en los bajos alcalinos de uso ganadero en la cuenca del Arroyo del Azul (Bs. As, Argentina). *III Jornadas Argentinas de Ecología de Paisajes*. Libro de Resúmenes.
- Milchunas, D.G.; Lauenroth, W.K.; Chapman, P.L. & Kazempour, M.K. 1989. Effects of grazing, topography, and precipitation on the structure of a semiarid grassland. *Vegetatio* 80: 11-23.
- Morello, J.; Matteucci, S.D.; Rodríguez, A.F. & Silva, M. 2012. Marco teórico-metodológico. In: *Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos*, Morello, J.; Matteucci, S.D.; Rodríguez, A.F. & Silva, M. 1° Edición. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.
- Moscatelli, G. & Puentes, M.I. 2000. Suelos Argentinos. En: *Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos*, Conti, M. (coord.). Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Buenos Aires.
- Murray, B. & Fonstad, M. 2007. Complexity (and simplicity) in landscapes. *Geomorphology* 91, 173-177.
- Naveh, Z. & Lieberman, A.S. 1994. *Landscape Ecology: theory and application*. Springer Verlag, Nueva York.
- Odum, E. P. 1959. *Fundamentals of ecology*. 2nd edition. W.B. Saunders Co. Philadelphia and London.
- Odum, H.T., 1971. *Environment, Power and Society*. John Wiley & Sons, New York.

- O'Neill, R.V.; de Angelis, D.L.; Waide, J.B. & Allen, T.F.H. 1986. *A hierarchical concept of ecosystems*. Princeton University Press. New Jersey, 253 pp.
- Osterkamp, W.R. & Hupp, C.R. 2010. Fluvial processes and vegetation — glimpses of the past, the present, and perhaps the future. *Geomorphology* 116, 264-285.
- Oyarzabal, M. 2014. Definición de pastizal natural en el marco del Índice de Contribución a la Conservación de Pastizales Naturales del Cono Sur de Sudamérica (ICP). In: *Índice de Contribución a la Conservación de Pastizales Naturales del Cono Sur. Una herramienta para incentivar a los productores rurales*, Parera, Paullier y Weyland (eds.). Proyecto Incentivos Oficiales a la Conservación de Pastizales Naturales en el Cono Sur de Sudamérica. Aves Uruguay, Alianza del Pastizal. BID. Argentina.
- Parera, A., Paullier, I. y Weyland, F. (Eds.). 2014. *Índice de Contribución a la Conservación de Pastizales Naturales del Cono Sur. Una herramienta para incentivar a los productores rurales*. Proyecto Incentivos Oficiales a la Conservación de Pastizales Naturales en el Cono Sur de Sudamérica. Aves Uruguay, Alianza del Pastizal. BID. Argentina.
- Peña, D. 2002. *Análisis de datos multivariantes*. Ed. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España.
- Perelman, S.B.; León, R.J.C. & Deregibus, V.A. 1982. Aplicación de un método objetivo al estudio de las comunidades de pastizal de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). *Revista de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires* 3: 27-40.
- Perelman, S.B. 1996. *Análisis multivariado descriptivo aplicado al estudio de las comunidades de pastizal de la Pampa Deprimida*. Tesis de Magister Scientiae. Escuela para Graduados. Facultad de Agronomía. UBA.
- Perelman, S.B.; León, R.J.C. & Oosterheld, M. 2001. Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *Journal of Ecology* 89: 562-577.
- Perelman, S.B.; Burkart, S.E. & León, R.J.C. 2003. The role of a native tussock grass (*Paspalum quadrifarium* Lam.) in structuring plant communities in the Flooding Pampa grasslands, Argentina. *Biodiversity and Conservation* 12: 225-238.
- Pereyra, F. 2003. *Ecorregiones de la Argentina*. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- Pezeshki, S.R. 1994. Plant response to flooding. In: Wilkinson, R.E. (ed.), *Plant-Environment Interactions*. Marcel Dekker Inc.: New York. pp. 289-321.
- Pickett, S.T.A. & Cadenasso, M.L. 1995. Landscape ecology: spacial heterogeneity in ecological systems. *Science*, Vol. 239: 331-334.
- Pielou, E.C. 1977. *Mathematical ecology*. Wiley & Sons, New York.
- Pizzuto, J.E.; O'Neal, M.A. & Stotts, S.N. 2010. On the retreat of forested, cohesive riverbanks. *Geomorphology* 116, 341-352.
- Prieto, A.R.; Blasi, A.M.; De Francesco, C.G. & Fernández, C. 2004. Environmental hystory since 11,000 yr B.P. of the northeastern Pampas, Argentina from alluvial sequences of Luján River. *Quaternary Research* 62, 146-161.

- Prigogine, I. 1972-1982. *Tan solo una ilusión. Una exploración del caos al orden*. Tusquets Editores, Barcelona.
- R Core Team. 2016 a. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Disponible en (último acceso enero de 2018): <https://www.r-project.org/>
- R Core Team. 2016 b. *The R Stats Package*. Package: stats, version 3.3.0. Disponible en (último acceso enero de 2018): <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/00Index.html>
- Ravi, S.; Breshears, D.D.; Huxman, T.E. & D'Odorico, P. 2010. Land degradation in drylands: interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116, 236-245.
- Real, R.; Barbosa, A.; Porras, D.; Kin, M.; Márquez, A.; Guerrero, J.; Palomo, L.; Justo, E. & Vargas, J. 2003. Relative importance of environment, human activity and spatial situation in determining the distribution of terrestrial mammal diversity in Argentina. *Journal of Biogeography*, 30: 939-947.
- Reed, R.A.; Peet, R.K.; Palmer, M.W. & White, P.S. 1993. Scale dependence of vegetation-environment correlations - a case study of a North-Carolina Piedmont woodland. *Journal of Vegetation Science* 4: 329-340.
- Reca, A.R. 2006. Unidades Ecológicas de PN San Guillermo. Administración de Parques Nacionales, manuscrito.
- Reid, M.A.; Ogden, R. & Thoms, M.C. 2011. The influence of floodfrequency, geomorphic setting and grazing on plant communities and plant biomass on a large dryland floodplain. *Journal of Arid Environments*, 75: 815-826. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2011.03.014
- Roberts, D.W. 1987. A dynamical systems perspective on vegetation theory. *Vegetatio* 69: 27-33.
- Roberts, D.W. 2016. *Ordination and Multivariate Analysis for Ecology*. Package: labdsv. Version: 1.8-0. Disponible en (último acceso enero de 2018): <https://cran.r-project.org/web/packages/labdsv/index.html>
- Rubert de Ventós, X. 2006. *La teoría de la frontera*. Sessió conjunta en homenatge al doctor Margalef: Espai i temps en ecologia. IEC, SCB, Barcelona.
- Sala, J.M.; González, N. & Kruse, E. 1983. Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires. En: *Hidrología de las grandes llanuras*, Fuschini Mejía, M.C. (ed.). 1983. Actas del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Vol. 2: 973-1009. Olavarría, Buenos Aires.
- Sala, J.M.; Kruse, E., & Agugliano, R. 1987. *Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires*. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Informe 37. La Plata.
- Sala, O.E.; Oesterheld, M.; León, R.J.C. & Soriano, A. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio* 67: 27-32.
- Sala, O. & Paruelo, J. 1997. Ecosystem services in grasslands. In: *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, Daily, G. (ed.). Island Press, Washington, DC.

- SAGPyA - INTA. 2008. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos - INTA (actualizado por R. Godagnone). En: Cruzate, G.; Panigatti, J.L. & Moscatelli, G. 2008. Suelos y Ambientes de Buenos Aires. INTA - SAGPyA.
- Scaramuzzino, R.; Gandini, M.; Valicenti, R.; D' Alfonso, C. & Farina, E. 2010. Especies vegetales asociadas a humedales en distintos sectores de la cuenca del arroyo del Azul. In: *Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zonas de llanura*, Varni, M., Entraigas, I. y Vives, L. (eds.). Editorial Martín. Mar del Plata.
- Schimel, D.; Stillwell, M.A. & Woodmansee, R.G. 1985. Biogeochemistry of C, N, and P in a soil catena of the shortgrass steppe. *Ecology*. 66: 276-282.
- Schuschny, A.R. 1998. El estudio del medio ambiente desde las ciencias de la complejidad. In: *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*, Matteucci, S.D. y Buzai, G.D. (eds.). Eudeba. Buenos Aires.
- Shmida, A. & Wilson, M.V. 1985. Biological determinants of species diversity. *Journal of Biogeography*, Vol. 12, N°1: 1-20.
- Smith, T.B.; Wayne, R.K.; Girman, D.J. & Bruford, M.W. 1997. A role for ecotones in generating rainforest biodiversity. *Science* 276: 1855-1857.
- Soininen, J.; McDonald, R. & Hillebrand, H. 2007. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography* 30: 3-12.
- Sterling, A.; Peco, B.; Casado, M.A.; Galiano, E.F. & Pineda, F.D. 1984. Influence of microtopography on floristic variation in the ecological succession in grassland. *Oikos*, 42:334-342
- Striker, G.G.; Mollard, F.P.O.; Grimoldi, A.A.; León, R.J.C. & Insausti, P. 2011. Trampling enhances the dominance of graminoids over forbs in flooded grassland mesocosms. *Applied Vegetation Science*, 14: 95-106. doi:10.1111/j.1654-109X.2010.01093.x
- Swanson, F.J.; Kratz, T.K.; Caine, N. & Woodmansee. 1988. Landform Effects on Ecosystem Patterns and Processes. Geomorphic features of the earth's surface regulate the distribution of organisms and processes. *BioScience* Vol. 38 N°2: 92-98.
- Taboada, M.A.; Lavado, R.S.; Svartz, H. & Segat, A.M.L. 1999. Structural stability changes in grazed grassland Natraquoll of the Flooding Pampa (Argentina). *Wetlands*, 19: 50-55.
- Taboada, M.A. & Micucci, F.G. 2002. *Fertilidad física de los suelos*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Taboada, M.A. 2009. Alteraciones de la fertilidad causadas por el hidromorfismo edáfico. En: Taboada, M.A. & Lavado, R.S. *Alteraciones a la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Tavella, G.F. 2005. Cuenca del Salado. In: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O.; Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.). *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata.
- Timm, N.H. 2002. *Applied Multivariate Analysis*. Springer Texts in Statistics. Berlin Heidelberg New York.

- Tricart, J.L. 1969. Actions éoliennes dans la Pampa Deprimida. *Revue de Geomorphologie Dynamique* 4, 178:189.
- Tricart, J.L. 1973. *Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos*. INTA XII, Colección Científica.
- Turner, M.G.; Gardner, R.H. & O'Neill, R.V. 2001. *Landscape Ecology in theory and practice. Pattern and process*. Springer, New York.
- Urban, D.L.; O'Neill, R.V. & Shugart, H.H.Jr. 1987. Landscape Ecology: A hierarchical perspective can help scientists understand spacial patterns. *BioScience*, Vol 37, N°2:119-127.
- USDA-NRCS. 2004. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report number 42. USDA (United States Department of Agriculture) and NRCS (Nacional Resources Conservation Service). National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska.
- Usunoff, E.; Varni, M.; Rivas, R. y Weinzettel, P. 2000. Aspectos hidrogeológicos de relevancia de la Llanura Pampeana en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *I Joint World Congress on Groundwater*, 1-18. Fortaleza, Brasil.
- Valicenti, R.; Méndez Escobar, R.; Requesens, E.; Orfila, E.; Farina, E.; D'Alfonso, C. & Scaramuzzino, R. 2000. Relaciones entre la vegetación y la fisiografía en una transección perpendicular al arroyo Azul (Provincia de Buenos Aires). *Rev. Fac. Agronomía UNLPam* 11: 32-42.
- Varela, L. 1992. Índices de escurrimientos de los arroyos Azul, Tapalqué y Brandsen, Provincia de Buenos Aires. *III Jornadas Geológicas Bonaerenses*, 253-256.
- Varni, M.; Zemme, S.; Weinzettel, P. & Dietrich, S. 2014. Relación entre recarga al acuífero freático y otros términos del balance hídrico en Azul, centro de la Provincia de Buenos Aires. *II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*. Santa Fe.
- Vercelli, N. 2011. *Caracterización de agroecosistemas a escala de paisaje en la cuenca baja del arroyo del Azul y propuesta para su enseñanza en la Escuela Secundaria*. Trabajo Final Profesorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Agronomía, UNCPBA.
- Vercelli, N.; Entraigas, I.; Scaramuzzino, R.; Migueltoarena, M.V. & D'Alfonso, C. 2013 a. Plantas medicinales de los bajos alcalinos de la cuenca del arroyo del Azul (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Rev. Fac. Cienc. Agrar. Univ. Nac. Cuyo* 45(2): 285-298.
- Vercelli, N.; Entraigas, I.; Migueltoarena, M.V. & y Argañaraz, J. 2013 b. Paisajes de Llanura. In: *Los paisajes de la cuenca del arroyo del Azul*. Entraigas, I. & Vercelli, N. (eds.). Editorial Martín. Mar del Plata.
- Vervoorst, F.B. 1967. *Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado. La Vegetación de la República Argentina*. Serie Fitogeográfica N° 7. INTA. Buenos Aires.
- Viglizzo, E.F.; Frank, F.C. & Carreño, L.V. 2005. La situación ambiental en las ecorregiones Pampa y Campos y Malezales. En: *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Brown, A.; Martínez Ortiz, U.; Acerbi, M. & Corcuera, J. (eds.). Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires.
- Waddington, C.H. 1975. *A catastrophe theory of evolution*. Cornell University Press, Ithaca.

- Weinzettel, P.; Varni, M.; Zabala, M.E. & Dietrich, S. 2009. Diseño de pozos de muestreo en un sector de la cuenca baja del arroyo del Azul, prov. de Buenos Aires. In: *Actas del VI Congreso Argentino de Hidrogeología, IV Seminario Hispanoamericano de temas actuales de la Hidrogeología. Aportes de la Hidrogeología al conocimiento de los Recursos Hídricos*. Mariño, E. & Schulz, C. (eds). 229-238. Santa Rosa, La Pampa.
- White, R.; Murray, S. & Rohweder, M. 2000. *Pilot analysis of global ecosystems (PAGE): grassland ecosystems*. World Resources Institute (WRI). Washington, DC.
- Wiens, J.A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3: 385-397
- Wildi, O. 2010. *Data analysis in vegetation ecology*. John Wiley & Sons. UK.
- World Resources 2000-2001 (2000). *People and ecosystems: the fraying web of life*. World Resources Institute in collaboration with the United Nations Development Programme, The United Nations Environment Programme, and the World Bank. Washington, DC.
- WWF. 2017. *Temperate grasslands, savannas and shrublands*. World Wildlife Fund. Disponible en (último acceso enero de 2018): <https://www.worldwildlife.org/biomes/temperate-grasslands-savannas-and-shrublands>
- Yetemen, O.; Istanbuluoglu, E. & Vivoni, E.R. 2010. The implications of geology, soils, and vegetation on landscape morphology: inferences from semi-arid basins with complex vegetation patterns in Central New Mexico, USA. *Geomorphology* 116: 246-263
- Zabala, M.E.; Weinzettel, P. & Varni, M. 2006. Utilización de ensayos de pulso para la estimación de la conductividad hidráulica en la Cuenca del Arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*, Asunción, Paraguay. Publicado en *Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*, 95-96.
- Zabala, M. E. 2013. *El origen de la composición química del acuífero freático en la cuenca del arroyo del Azul*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
- Zabala, M.E.; Manzano, M. & Vives, L. 2014. Estudio del origen de la composición química del agua del acuífero Pampeano en la cuenca del arroyo del Azul (Buenos Aires). *II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*, Santa Fe, Argentina.
- Zárate, M.A. & Blasi, A. 1993. Late Pleistocene and Holocene eolian cycle of the southern Buenos Aires province, Argentina: a preliminary model. *Quaternary International* 17: 15-20.
- Zárate, M.A.; Kemp, R.A.; Espinosa, M. & Ferrero, L. 2000. Pedosedimentary and paleoenvironmental significance of a Holocene alluvial sequence in the southern Pampas Argentina. *The Holocene* 10 (4), 481-488.
- Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22: 1987-2006.
- Zárate, M.A. 2005. El Cenozoico tardío continental en la provincia de Buenos Aires. In: *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O.; Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.). *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata.



- Zárate, M.A. y Mehl, A. 2010. Geología y geomorfología de la cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. En: *Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zonas de llanura*. Varni, M., Entraigas, I. y Vives, L. (eds.) Vol. I: 65-78. Editorial Martín. Mar del Plata.
- Zárate, M.; Mehl, A. & Castro, M. 2010. *Geomorfología de la Cuenca del Arroyo del Azul*. Informe Técnico, Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul.
- Zárate, M.A. & Tripaldi, A. 2012. The Aeolian system of central Argentina. *Aeolian Research* 3: 401-417.
- Zuloaga, F.O. y Morrone, O. (eds.). 1996. Catálogo de las plantas vasculares de la Argentina: Pteridophyta, Gymnospermae y Monocotyledoneae (excluyendo Poaceae). *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 60: 1-332.
- Zuloaga, F.O. y Morrone, O. (eds.). 1999. Catálogo de las Plantas Vasculares de la Argentina: Dicotyledoneae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 74: 1-1246.
- Zuloaga, F.O.; Morrone, O. & Belgrano, J.M. (eds.). 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, sur de Brasil, Chile, Paraguay, y Uruguay). Vol. 1 Pteridophyta, Gymnospermae y Monocotyledoneae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 107: 1-983.

## ANEXO N° 1

### LISTADO COMPLETO DE FAMILIAS Y ESPECIES BOTÁNICAS REGISTRADAS

Tabla N° 1: Listado completo de las 171 especies botánicas registradas durante los muestreos de campo y utilizadas para el análisis de la vegetación. En negrita se indican las familias correspondientes.

<b>Alliaceae</b>
<i>Nothoscordum gracile</i> (Dryand. ex Aiton) Stearn var. <i>gracile</i>
<b>Amaranthaceae</b>
<i>Althernanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb
<b>Amaryllidaceae</b>
<i>Habranthus tubispathus</i> (L'Hér.) Traub
<b>Apiaceae</b>
<i>Ammi majus</i> L.
<i>Cyclospermum leptophyllum</i> (Pers.) Sprague var. <i>leptophyllum</i>
<i>Eryngium ebracteatum</i> Lam.
<i>Eryngium echinatum</i> Urb.
<i>Eryngium paniculatum</i> Cav. & Dombey ex F. Delaroche
<i>Hydrocotyle bonariensis</i> Lam.
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertn.
<b>Apocynaceae</b>
<i>Asclepias mellodora</i> A. St.-Hil.
<b>Asteraceae</b>
<i>Acmella decumbens</i> (Sm.) R.K. Jansen var. <i>decumbens</i>
<i>Ambrosia tenuifolia</i> Spreng.
<i>Carduus acanthoides</i> L.
<i>Centaurea calcitrapa</i> L.
<i>Chaptalia piloselloides</i> (Vahl) Baker
<i>Chevreulia sarmentosa</i> (Pers.) S.F. Blake
<i>Berroa gnaphalioides</i> (Less.) Beauverd
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist var. <i>bonariensis</i>
<i>Conyza primulifolia</i> (Lam.) Cuatrec. & Lourteig
<i>Conyza</i> sp.

<i>Gamochaeta coarctata</i> (Willd.) Kerguélen	
<i>Grindelia pulchella</i> Dunal var. <i>discoidea</i> (Hook. & Arn.) A. Bartoli & Tortosa	
<i>Holocheilus hieracioides</i> (D. Don) Cabrera	
<i>Hypochaeris albiflora</i> (Kuntze) C.F. Azevêdo-Gonçalves & Matzenb.	
<i>Hypochaeris megapotamica</i> Cabrera	
<i>Hypochaeris microcephala</i> (Sch. Bip.) Cabrera	
<i>Hypochaeris petiolaris</i> (Hook. & Arn.) Griseb.	
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	
<i>Hypochaeris</i> sp.	
<i>Leontodon taraxacoides</i> (Vill.) Mérat	
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	
<i>Panphalea bupleurifolia</i> Less.	
<i>Picrosia longifolia</i> D. Don	
<i>Soliva sessilis</i> Ruiz & Pav.	
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	
<i>Xanthium spinosum</i> L. var. <i>spinosum</i>	
<i>Xanthium strumarium</i> L.	
<hr/>	
Azollaceae	
<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	
<hr/>	
Brassicaceae	
<i>Lepidium dydimum</i> L.	
<i>Lepidium parodii</i> Thell.	
<i>Lepidium spicatum</i> Desv.	
<i>Rorippa bonariensis</i> (Poir.) Macloskie var. <i>bonariensis</i>	
<hr/>	
Calyceraceae	
<i>Acicarpa procumbens</i> Less.	
<hr/>	
Caryophyllaceae	
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	
<i>Silene gallica</i> L.	
<i>Spergula laevis</i> (Cambess.) D. Dietr.	
<i>Spergula ramosa</i> (Cambess.) D. Dietr. ssp. <i>ramosa</i>	
<hr/>	
Ceratophyllaceae	
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	
<hr/>	
Convolvulaceae	

*Convolvulus hermanniae* L'Hér

*Dichondra microcalyx* (Hallier f.) Fabris

---

Cyperaceae

*Carex bonariensis* Desf. ex Poir. var. *bonariensis*

*Cyperus corymbosus* Rottb.

*Cyperus eragrostis* Lam. var. *eragrostis*

*Cyperus reflexus* Vahl.

*Cyperus* sp.

*Eleocharis bonariensis* Nees.

*Eleocharis haunamiana* Barros

*Eleocharis macrostachya* Britton

*Eleocharis radicans* (Poir.) Kunth

*Eleocharis viridans* Kük ex. Osten

*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják var. *californicus*

*Schoenoplectus pungens* (Vahl) Palla var. *pungens*

---

Fabaceae

*Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd.

*Medicago lupulina* L.

*Medicago polymorpha* L.

*Melilotus indicus* (L.) All.

*Melilotus messanensis* (L.) All.

*Melilotus* sp.

*Trifolium repens* L.

---

Gentianaceae

*Centaurium pulchellum* (Sw.) Druce

---

Geraniaceae

*Geranium dissectum* L.

*Geranium molle* L.

---

Iridaceae

*Cypella herbertii* (Lindl.) Herb. ssp. *herbertii*

*Herbertia lahue* (Molina) Goldblatt ssp. *lahue*

*Sisyrinchium platense* I.M. Johnst.

---

Juncaceae

*Juncus balticus* Willd. ssp. *andicola* (Hook.) Snogerup

<i>Juncus imbrincatus</i> Laharpe
<i>Juncus microcephalus</i> Kunth
<i>Juncus pallescens</i> Lam. var. <i>pallescens</i>
Lamiaceae
<i>Mentha pulegium</i> L.
<i>Scutellaria racemosa</i> Pers.
Linnaceae
<i>Linum bienne</i> Mill.
Lythraceae
<i>Cuphea glutinosa</i> Cham. & Schltdl.
<i>Lythrum hyssopifolia</i> L.
Malvaceae
<i>Malvella leprosa</i> (Ortega) Krapov.
<i>Modiola caroliniana</i> (L.) G. Don
Marsileaceae
<i>Marsilea ancylopoda</i> A. Braun
Onagraceae
<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H. Raven ssp. <i>peploides</i>
Orobanchaceae
<i>Agalinis communis</i> (Cham. & Schltdl.) D'Arcy
Oxalidaceae
<i>Oxalis articulata</i> Savigny ssp. <i>articulata</i>
<i>Oxalis conorhiza</i> Jacq.
<i>Oxalis</i> sp.
Plantaginaceae
<i>Plantago lanceolata</i> L.
<i>Plantago myosuroides</i> Lam.
<i>Plantago</i> sp.
<i>Scoparia montevidensis</i> (Spreng.) R.E. Fr.
<i>Veronica polita</i> Fr.
Poaceae
<i>Amelichloa caudata</i> (Trin.) Arriaga & Barkworth
<i>Amphibromus scabrivalvis</i> (Trin.) Swallen var. <i>scabrivalvis</i>
<i>Aristida pallens</i> Cav. var. <i>pallens</i>

*Bothriochloa laguroides* (DC.) Herter var. *laguroides*  
*Briza minor* L.  
*Bromidium hygrometricum* (Nees) Nees & Meyen  
*Bromus catharticus* Valh.  
*Bromus hordeaceus* L.  
*Chascolythrurum subaristatum* (Lam.) Desv.  
*Cynodon dactylon* (L.) Pers. var. *dactylon*  
*Danthonia montevidensis* Hack. & Arechav.  
*Deyeusia viridiflavescens* (Poir.) Kunth var. *viridiflavescens*  
*Distichlis scoparia* (Kunth) Arechav. var. *scoparia*  
*Distichlis spicata* (L.) Greene var. *spicata*  
*Eleusine tristachya* (Lam.) Lam.  
*Festuca arundinacea* Schreb.  
*Glyceria multiflora* Steud.  
*Hainardia cylindrica* (Willd.) Greuter  
*Hordeum pusillum* Nutt.  
*Hordeum stenostachys* Gord.  
*Jarava plumosa* (Spreng.) S.W.L. Jacobs & J. Everett  
*Lachnagrostis filiformis* (G. Forst.) Trin.  
*Leersia hexandra* Sw.  
*Leptochloa fusca* (L.) Kunth ssp. *uninervia* (J. Presl) N. Snow  
*Lolium multiflorum* Lam.  
*Melica rigida* Cav.  
*Nassella formicarum* (Delile) Barkworth  
*Nassella longiglumis* (Phil.) Barkworth  
*Nassella melanosperma* (J. Presl) Barkworth  
*Nassella neesiana* (Trin. & Rupr.) Barkworth var. *neesiana*  
*Nassella phillipii* (Steud.) Barkworth  
*Panicum bergii* Arechav. var. *bergii*  
*Parapholis incurva* (L.) C.E. Hubb.  
*Paspalum dilatatum* Poir. ssp. *dilatatum*  
*Paspalum quadrifarium* Lam.  
*Paspalum vaginatum* Sw.  
*Phalaris platensis* Henrard ex Wacht.

*Piptochaetium bicolor* (Vahl) E. Desv.  
*Piptochaetium medium* (Speg.) Torres  
*Piptochaetium stipoides* (Trin. & Rupr.) Hack. ex Arechav. var. *stipoides*  
*Poa annua* L.  
*Poa lanigera* Nees  
*Poa ligularis* Nees ex Steud. var. *resinulosa* Fernández Pepi & Giussani  
*Poa pratensis* L. spp. *pratensis*  
*Polypogon elongatus* Kunth Phil.  
*Puccinellia glaucenscens* (Phil.) Parodi  
*Setaria geminata* (Forssk.) Veldkamp  
*Setaria viridis* (L.) P. Beauv.  
*Sporobolus indicus* (L.) R. Br. var. *indicus*  
*Sporobolus pyramidatus* (Lam.) Hitchc.  
*Steinchisma hians* (Elliott) Nash  
*Vulpia bromoides* (L.) Gray  
 Poacea N°1 - SIN DETERMINAR  
 Poacea N°2 - SIN DETERMINAR

---

Polygonaceae

*Polygonum aviculare* L.  
*Polygonum hydropiperoides* Michx.  
*Rumex crispus* L.  
*Rumex obovatus* Danser  
*Rumex* sp.

---

Primulaceae

*Anagallis arvensis* L.

---

Ranunculaceae

*Ranunculus apiifolius* Pers.  
*Ranunculus bonariensis* Poir.

---

Ricciaceae

*Ricciocarpus natans* L.

---

Rosaceae

*Margyricarpus pinnatus* (Lam.) Kuntze

---

Rubiaceae

*Galium richardianum* (Gillies ex Hook. & Arn.) Endl. ex Walp. ssp. *richardianum*

Solanaceae
<i>Solanum glaucophyllum</i> Desf.
Turneraceae
<i>Turnera sidoides</i> L. ssp. <i>pinnatifida</i> (Juss. ex Poir.) Arbo
Verbenaceae
<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Greene var. <i>minor</i> (Gillies & Hook. ex Hook.) N. O'Leary & P. Peralta
ESPECIE SIN DETERMINAR N°1
ESPECIE SIN DETERMINAR N°2
ESPECIE SIN DETERMINAR N°3
ESPECIE SIN DETERMINAR N°4



## ANEXO N° 2

### ESPECIES Y COMBINACIONES EVALUADAS CON EL MÉTODO IndVal

Tabla N° 1: Especies y combinaciones evaluadas con el método IndVal para el Grupo 1 de unidades muestrales. RA: abundancia relativa. RF: frecuencia relativa. IndVal: valor indicador (%).

Grupo N°1					
Especies registradas: 37 - Especies Candidatas: 8 - Combinaciones Evaluadas: 24					
ESPECIE 1	ESPECIE 2	ESPECIE 3	RA	RF	IndVal
<i>Ludwigia peploides</i>	---	---	0,88	0,88	77,85
<i>Glyceria multiflora</i>	---	---	1	0,76	76,47
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Glyceria multiflora</i>	---	1	0,71	70,59
<i>Azolla filiculoides</i>	---	---	1	0,65	64,71
<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	---	1	0,65	64,71
<i>Glyceria multiflora</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	---	1	0,65	64,71
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	---	0,86	0,71	60,50
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Glyceria multiflora</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	1	0,59	58,82
<i>Ludwigia peploides</i>	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	---	1	0,59	58,82
<i>Polygonum hydropiperoides</i>	---	---	1	0,59	58,82
<i>Solanum glaucophyllum</i>	---	---	0,80	0,71	56,47
<i>Ricciocarpus natans</i>	---	---	1	0,53	52,94
<i>Ricciocarpus natans</i>	<i>Azolla filiculoides</i>	---	1	0,53	52,94
<i>Ricciocarpus natans</i>	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	1	0,53	52,94
<i>Ricciocarpus natans</i>	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Ranunculus apiifolius</i>	1	0,53	52,94
<i>Ricciocarpus natans</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	---	1	0,53	52,94
<i>Ricciocarpus natans</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	<i>Ranunculus apiifolius</i>	1	0,53	52,94
<i>Ricciocarpus natans</i>	<i>Ranunculus apiifolius</i>	---	1	0,53	52,94
<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	<i>Ranunculus apiifolius</i>	1	0,53	52,94
<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Ranunculus apiifolius</i>	---	1	0,53	52,94
<i>Glyceria multiflora</i>	<i>Solanum glaucophyllum</i>	---	1	0,53	52,94
<i>Ludwigia peploides</i>	<i>Ranunculus apiifolius</i>	---	1	0,53	52,94
<i>Ranunculus apiifolius</i>	---	---	1	0,53	52,94
<i>Ludwigia peploides</i>	<i>Solanum glaucophyllum</i>	---	0,83	0,59	49,02

Tabla N° 2: Especies y combinaciones evaluadas con el método IndVal para el Grupo 2 de unidades muestrales (se muestran las 28 combinaciones con mayor valor indicador). RA: abundancia relativa. RF: frecuencia relativa. IndVal: valor indicador (%).

Grupo N°2					
Especies registradas: 85 - Especies Candidatas: 22 - Combinaciones Evaluadas: 826					
ESPECIE 1	ESPECIE 2	ESPECIE 3	RA	RF	IndVal
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	1	0,93	93,33
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	---	1	0,93	93,33
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	1	0,93	93,33
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	1	0,93	93,33
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	<i>Lotus tenuis</i>	1	0,93	93,33
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Lotus tenuis</i>	1	0,93	93,33
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	0,93	0,93	87,11
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	0,93	0,93	87,11
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	---	0,93	0,93	87,11
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	0,93	0,93	87,11
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	1	0,87	86,67
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Rumex crispus</i>	1	0,87	86,67
<i>Cyperus reflexus</i>	<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	1	0,87	86,67
<i>Cyperus reflexus</i>	<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	1	0,87	86,67
<i>Cyperus reflexus</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Rumex crispus</i>	1	0,87	86,67
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cypella herbertii</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	1	0,87	86,67
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cypella herbertii</i>	<i>Lotus tenuis</i>	1	0,87	86,67
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Sisyrinchium platense</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	1	0,87	86,67
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	1	0,87	86,67
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	1	0,87	86,67
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	---	1	0,87	86,67
<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Lotus tenuis</i>	1	0,87	86,67
<i>Sisyrinchium platense</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Rumex crispus</i>	1	0,87	86,67
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Rumex crispus</i>	1	0,87	86,67
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Rumex crispus</i>	1	0,87	86,67
<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Rumex crispus</i>	---	1	0,87	86,67
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Eleocharis viridans</i>	<i>Lotus tenuis</i>	0,88	0,93	81,67
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	0,88	0,93	81,67

Tabla N° 3: Especies y combinaciones evaluadas con el método IndVal para el Grupo 3 de unidades muestrales (se muestran las 28 combinaciones con mayor valor indicador). RA: abundancia relativa. RF: frecuencia relativa. IndVal: valor indicador (%).

Grupo N°3					
Especies registradas: 103 - Especies Candidatas: 19 - Combinaciones Evaluadas: 292					
ESPECIE 1	ESPECIE 2	ESPECIE 3	RA	RF	IndVal
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	---	1	0,93	92,86
<i>Cirsium vulgare</i>	---	---	1	0,93	92,86
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,86	85,71
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,86	85,71
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	---	1	0,86	85,71
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,86	85,71
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	---	1	0,86	85,71
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,86	85,71
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	---	1	0,86	85,71
<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	---	1	0,86	85,71
<i>Carduus acanthoides</i>	---	---	1	0,86	85,71
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,79	78,57
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	1	0,79	78,57
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,79	78,57
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	---	1	0,79	78,57
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	1	0,79	78,57
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Poa pratensis</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,79	78,57
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,79	78,57
<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	---	1	0,79	78,57
<i>Poa pratensis</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	---	1	0,79	78,57
<i>Carduus acanthoides</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	---	1	0,79	78,57
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	1	0,71	71,43
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	1	0,71	71,43
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Poa pratensis</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,71	71,43
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	---	1	0,71	71,43
<i>Carex bonariensis</i>	<i>Carduus acanthoides</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,71	71,43
<i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	1	0,71	71,43
<i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	1	0,71	71,43

Tabla N° 4: Especies y combinaciones evaluadas con el método IndVal para el Grupo 4 de unidades muestrales (se muestran las 28 combinaciones con mayor valor indicador). RA: abundancia relativa. RF: frecuencia relativa. IndVal: valor indicador (%).

Grupo N° 4					
Especies registradas: 53 - Especies Candidatas: 10 - Combinaciones Evaluadas: 172					
ESPECIE 1	ESPECIE 2	ESPECIE 3	RA	RF	IndVal
<i>Distichlis scoparia</i>	---	---	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Distichlis spicata</i>	---	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Hordeum pusillum</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Hordeum pusillum</i>	---	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	---	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	---	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Distichlis scoparia</i>	<i>Platago myosuros</i>	---	1	1	100
<i>Distichlis spicata</i>	<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	1	1	100
<i>Distichlis spicata</i>	<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Distichlis spicata</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	1	1	100
<i>Distichlis spicata</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Distichlis spicata</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	---	1	1	100
<i>Distichlis spicata</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Distichlis spicata</i>	<i>Platago myosuros</i>	---	1	1	100
<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	<i>Platago myosuros</i>	1	1	100
<i>Lepidium spicatum</i>	<i>Platago myosuros</i>	---	1	1	100
<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Lepidium spicatum</i>	0,93	1	93,33
<i>Hordeum pusillum</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Platago myosuros</i>	0,93	1	93,33

### ANEXO N° 3

#### DATOS COMPLETOS PARA LAS UNIDADES DE MUESTREO

**Tabla N° 1:** Datos topográficos, geomorfológicos y edáficos para las unidades muestrales analizadas en la investigación. **PACCE:** Planicie de Agradación con Costra Calcárea Estratiforme. **C:** Cubeta. **D:** Duna. **DD:** Duna de Deflación. **Grupo UM:** Grupos de unidades de muestreo obtenido con clasificación jerárquica a partir de datos florísticos. **1:** Grupo 1. **2:** Grupo 2. **3:** Grupo 3. **4:** Grupo 4. **UI:** unidades intermedias.

	ID	X	Y	Geoforma	Grupo UM	pH	CE ( $\mu$ S/cm)	Suelo sin Cobertura (%)	Altura (m.s.n.m.)	Acumulación de flujo (log 10)
Unidad de Análisis 1	1	5527518,389	5944132,125	PACCE	UI	6,34	88,75	2	126,269	0
	2	5527485,636	5944166,077	PACCE	2	8,57	444	1	126,101	0,301
	3	5527453,491	5944195,834	C	1	6,1	144,65	0	125,696	4,079
	4	5527411,761	5944234,222	C	1	6,035	121,8	7	125,642	4,255
	5	5527378,274	5944271,782	PACCE	1	5,795	129,4	0	125,937	4,079
	6	5527332,428	5944328,309	D	3	5,875	84,75	0	126,513	0
	7	5527274,511	5944385,335	PACCE	UI	5,695	63,05	0	126,326	0,708
	8	5527234,126	5944425,63	PACCE	4	9,98	1730	20	126,097	1,491
	9	5527188,457	5944475,712	PACCE	4	10,175	1049	35	126,035	1,301
	10	5527162,616	5944496,817	PACCE	UI	8,82	451	1	126,047	0
	11	5527100,838	5944551,173	PACCE	2	8,305	358	1	125,85	2,175
	12	5527035,109	5944620,862	PACCE	2	6,295	94	0	125,78	0
	13	5526982,76	5944664,676	PACCE	1	5,855	103,6	0	125,386	3,645
	14	5526906,654	5944736,954	PACCE	2	6,98	218	0	125,642	2,267
	15	5527464,796	5944072,741	PACCE	UI	8,255	301	0	126,321	1,247

	16	5527438,708	5944116,69	C	1	6,475	186,95	0	125,834	4
	17	5527393,522	5944161,778	C	1	6,25	138,7	40	125,531	4,176
	18	5527349,864	5944211,269	PACCE	1	5,885	160,65	0	125,867	4
	19	5527310,928	5944261,393	PACCE	2	7,92	382,5	3	126,107	2,164
	20	5527267,283	5944315,107	D	3	5,885	141,7	0	126,792	0
	21	5527149,184	5944349,42	PACCE	UI	9,195	790,5	3	126,245	1,050
	22	5527124,694	5944389,17	PACCE	UI	7,7	245	0	126,155	1,604
	23	5527091,996	5944425,525	PACCE	4	9,475	1153,5	30	126,195	0
	24	5527064,7	5944465,561	PACCE	UI	9,595	845	20	126,012	1,613
	25	5527023,024	5944506,475	PACCE	4	9,295	1680,5	5	125,918	1,661
	26	5526976,742	5944567,809	PACCE	2	6,98	168	0	125,828	2,209
	27	5526927,29	5944616,361	PACCE	2	7,235	251,5	2	125,776	2,271
Unidad de Análisis 2	28	5525850,94	5945797,518	DD	3	5,375	137,3	3	124,696	0
	29	5525826,198	5945831,1	DD	3	7,285	389	2	124,845	0
	30	5525806,416	5945853,477	DD	UI	6,345	223,5	5	124,145	1,856
	31	5525803,42	5945856,846	C	1	6,235	349,5	0	124,152	4,230
	32	5525798,959	5945860,559	C	1	6,235	349,5	2	124,146	4,431
	33	5525769,236	5945890,241	C	1	6,235	349,5	0	123,834	4,544
	34	5525746,933	5945908,803	C	1	5,05	207,05	20	123,892	4,544
	35	5525697,887	5945957,038	C	1	5,05	207,05	0	123,958	4,431
	36	5525654,721	5945977,512	C	1	5,05	207,05	0	124,117	4,230
	37	5525644,325	5945990,49	PACCE	UI	5,42	155,95	0	124,224	1,146
	38	5525629,447	5945999,782	PACCE	3	4,98	124,8	7	124,32	0,845
	39	5525564,019	5946053,613	PACCE	3	5,325	205,5	2	124,6	0
	40	5525794,048	5945714,46	DD	3	7,62	842	0	124,279	0,845
	41	5525761,312	5945733,054	DD	3	8,17	1037	0	124,122	0,602

	42	5525752,402	5945744,178	DD	UI	7,15	508	0	124,014	1,602
	43	5525731,567	5945755,337	C	1	7,15	508	15	123,856	4,176
	44	5525684,7	5945806,2	C	1	6,215	560,5	5	123,75	4,397
	45	5525646,2	5945861,5	C	1	6,215	560,5	10	123,667	4,397
	46	5525569,646	5945940,775	C	1	6,215	560,5	0	123,966	4,176
	47	5525559,239	5945950,053	PACCE	UI	6,48	413	0	124,039	1,293
	48	5525526,49	5945964,947	PACCE	3	5,74	315,5	0	124,192	1,322
	49	5525496,76	5945992,778	PACCE	3	6,245	211,7	5	124,246	0,954
Unidad de Análisis 3	50	5521921,391	5949498,037	PACCE	UI	9,69	1020,5	5	122,458	1,399
	51	5521901,998	5949515,071	PACCE	4	10,155	1827	30	122,388	1,582
	52	5521869,795	5949547,15	PACCE	UI	8,24	796,5	2	122,376	0
	53	5521845,335	5949565,214	PACCE	2	7,77	838	10	122,376	1,910
	54	5521788,836	5949592,052	PACCE	3	5,8	102,05	3	122,681	0
	55	5521784,275	5949606,613	PACCE	4	10,375	1646,5	40	122,504	1,083
	56	5521778,806	5949625,831	PACCE	4	10,2	1353	55	122,475	0,932
	57	5521766,821	5949633,784	PACCE	4	9,625	924,5	2	122,42	1,848
	58	5521746,177	5949667,004	PACCE	UI	8,945	479,5	5	122,286	2,119
	59	5521720,766	5949692,468	PACCE	2	7,155	580,5	4	122,185	2,410
	60	5521672,172	5949730,321	PACCE	3	7,39	298	0	122,277	0
	61	5521657,27	5949754,526	PACCE	4	10,28	1712,5	45	122,216	0
	62	5521610,647	5949795,486	PACCE	UI	8,97	591	5	122,217	2,028
	63	5521573,527	5949830,196	PACCE	2	8,615	622,5	3	122,176	2,306
	64	5521877,409	5949482,181	PACCE	4	9,83	2035	40	122,397	0,367
	65	5521843,598	5949507,636	PACCE	2	8,335	583,5	1	122,246	2,338
	66	5521822,672	5949523,208	PACCE	2	8,06	1026,5	3	122,399	1,218
	67	5521805,38	5949539,638	PACCE	4	10,21	965,5	60	122,487	0,831

	68	5521737,214	5949572,269	PACCE	3	5,765	184,5	0	122,819	0
	69	5521703,515	5949593,192	PACCE	4	10,295	1271	45	122,395	1,707
	70	5521698,349	5949614,383	PACCE	4	10,14	1797	5	122,396	0
	71	5521674,834	5949632,999	PACCE	UI	10,045	998,5	30	122,275	2,008
	72	5521643,997	5949655,425	PACCE	2	6,835	214	2	122,189	2,328
	73	5521616,708	5949675,252	PACCE	UI	9,21	763	2	122,379	1,310
	74	5521601,81	5949701,029	PACCE	3	6,125	138,5	0	122,56	0
	75	5521572,309	5949721,232	PACCE	4	9,445	1059	5	122,402	0
	76	5521526,021	5949757,352	PACCE	2	9,385	1175,5	2	122,25	2,235
	77	5521513,1	5949778,346	PACCE	2	7,165	291,5	3	122,222	2,089