



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
CARRERA DE DOCTORADO EN BIOLOGÍA-PROBIOL

TESIS DOCTORAL

**LA VEGETACIÓN DE LOS MÉDANOS GRANDES,
PROVINCIA DE SAN JUAN: ANÁLISIS FLORÍSTICO Y SINECOLÓGICO**

Lic. Mirta G. Pastran

Director: Dr. Eduardo Martínez Carretero

Mendoza, Argentina -2012-

RESUMEN

El objetivo general de la tesis es contribuir al conocimiento de la vegetación sammófila del centro-oeste de la Argentina mediante el análisis geosinfitosociológico (florístico y sinecológico) (paisaje vegetal) de la vegetación de los Médanos Grandes–San Juan, uno de los sistemas eólicos más importantes de Argentina.

El análisis realizado permite definir en el sistema dos subambientes, el dominado por procesos eólicos, con megadunas, y el dominado por procesos fluvio-eólicos, sin megadunas. El sistema, en general estabilizado y fijo, tiene actividad sólo en las crestas con escasa cobertura vegetal.

La vegetación juega un papel determinante en la dinámica de la arena y en el modelado de este sistema, estando estrechamente relacionada con la disponibilidad de agua que se ajusta a tres modelos: -el de escurrimiento superficial y subsuperficial desde la bajada pedemontana de la sierra de Pie de Palo al norte, -el de la freática relacionada con los ríos San Juan, al oeste, y Bermejo, al este, y – el del agua de lluvia que en las megadunas determina un bulbo húmedo con contenidos de 1,21-2,4 g de agua/100 g de arena, entre los 15-35 m de profundidad, aprovechada por las raíces de los arbustos.

Cuatro comunidades vegetales dominan en el sistema:-el pastizal de *Panicum urvilleanum* en las crestas, el -matorral de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* en las laderas de las dunas e intermédanos a más de 690 m, el -matorral de *Atriplex lampa* en los sectores marginales con suelos salinos y el -bosque de *Prosopis flexuosa* en los intermédanos bajos. Sintaxonómicamente la vegetación pertenece a tres Clases, la *Panico urvilleani-Sporoboletea rigentis* Esk., 1992 en ambientes sammófilos, la *Suaedetea divaricatae* Alonso et Conticello ex Martinez Carretero, 2001 en ambientes halófilos y la *Larreetea divaricato-cuneifoliae* Roig, 89 en la estepa arbustiva del Monte.

La relación entre las comunidades vegetales y las asociaciones geomorfológicas permite establecer dos paisajes: el Paisaje I o de Sistema eólico que incluye el 55 % de la superficie y el Paisaje II o de Sistema fluvio-eólico.

Palabras claves: eólico, megadunas, comunidades vegetales, dinamismo, bioclima, paisaje vegetal

ABSTRACT

The general aim of the thesis is to contribute knowledge of the psammophilous vegetation of central-west Argentina, through the geosynphytosociological (floristic and synecological) (plant landscape) analysis of the vegetation of Médanos Grandes -San Juan, one of the most important aeolian systems in Argentina.

The analysis allows defining two sub-environments in the system: one dominated by aeolian processes with mega-dunes, and the other by fluvio-aeolian processes without mega-dunes. The system is, in general, stabilized, and has activity only in dune crests with low plant cover.

Vegetation plays a determinant role in sand dynamics and in the modelling of this system, being related with soil water availability. Water in soil responds to three models: -one with surface and subsurface runoff from the foothills of Sierra de Pie de Palo in the north, -another one related to the water table of San Juan river in the west and Bermejo river in the east, and the third -for the rain water that in mega-dunes determines a wet bulb containing 1.21 – 2.4 g of water/100 g of sand, between 15-35 m depth, which is used by the roots of shrubs.

Four plant communities dominate in the system: the -grassland of *Panicum urvilleanum* in the crest of dunes, the -shrubland of *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* on the slopes of dunes and high inter-dune areas more of 690 m in altitude, the -shrubland of *Atriplex lampa* in marginal sectors with saline soils, and the -forest of *Prosopis flexuosa* in low inter-dune areas. Syntaxonically, vegetation belongs to three classes, *Panico urvilleani-Sporoboletea rigentis* Esk., 1992 in psammophilous environments, *Suaedetea divaricatae* Alonso et Conticello ex Martinez Carretero, 2001 in halophilous environments and *Larreetea divaricato-cuneifoliae* Roig, 89 in shrublands of the Monte formation.

The relation between plant communities and geomorphological associations allows to establish two vegetation landscapes: landscape I or Aeolian System, that includes 55% of the area, and landscape II or Fluvio-aeolian System.

Key words: aeolian, draas, plant communities, dynamism, bioclimate, vegetation landscape

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1 CAPÍTULO I: CARACTERIZACION CLIMÁTICA.....	7
1.1 Introducción	8
1.2 Metodología.....	8
1.3 Resultados.....	10
1.3.1 Temperatura.....	10
1.3.2 Precipitación y Evapotranspiración Potencial	10
1.3.3 Consideraciones climáticas por unidad geomorfológica.....	12
1.3.4 Vientos	13
1.3.5 Índices bioclimáticos	14
1.4 Conclusiones	16
2 CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	17
2.1 Introducción.....	18
2.2 Metodología.....	21
2.2.1 Análisis de imágenes satelitales	21
2.2.2 Análisis topográfico	21
2.3 Resultados.....	22
2.3.1 Interpretación del análisis de imágenes satelitales.....	22
2.3.2 Interpretación topográfica	28
2.3.3 Descripción de las Unidades Geomorfológicas	32
2.4 Conclusiones	41
3 CAPÍTULO III: PROCESOS DE EROSIÓN EÓLICA E HÍDRICA.....	42
3.1 Introducción	43
3.2 Metodología	44
3.3 Resultados y Discusión	47
3.3.1 Rosa de los vientos según el movimiento de arena	47
3.3.2 Dinámica de nebkhas en barlovento y sotavento	49
3.3.3 Movimientos de arena en crestas e intermedanos	53
3.3.4 Vientos-Cobertura vegetal y actividad de la duna	54
3.3.5 Volúmenes de arena removidos por erosión hídrica	57
3.4 Conclusiones	58
4 CAPÍTULO IV: EL AGUA EN EL SISTEMA DE MÉDANOS.....	60
4.1 Introducción	61
4.2 Metodología.....	65

4.3	Resultados y Discusión	68
4.3.1	Interpretación de las Imágenes de Resistividad por Tomografía Eléctrica	68
4.3.2	Relación resistividad-humedad del suelo	69
4.3.3	Modelos de disponibilidad de agua en megadunas, dunas y sectores bajos con cubierta de arena	73
4.4	Conclusiones	76
5	CAPÍTULO V: LAS COMUNIDADES VEGETALES	78
5.1	Introducción	79
5.2	Metodología	80
5.3	Resultados y Discusión	82
5.3.1	Las comunidades vegetales	82
5.3.2	Diversidad por comunidad	100
5.3.3	Dinamismo de la vegetación	100
5.3.4	Sintaxonomía	102
5.4	Conclusiones	103
6	CAPÍTULO VI: PAISAJE VEGETAL	105
6.1	Introducción	106
6.2	Metodología	106
6.3	Resultados	107
6.4	Conclusiones	110
7	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES GENERALES	112
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Temperatura media calculada para los meses de enero y julio para los 13 puntos seleccionados
- Tabla 2. Precipitación teórica para las 13 localidades analizadas
- Tabla 3. Evapotranspiración potencial para las localidades seleccionadas
- Tabla 4. Valores medios de Temperatura, Precipitaciones y ETP por unidad geomorfológica.
- Tabla 5. Índice de aridez para las localidades seleccionadas
- Tabla 6. Índice de aridez por subunidad geomorfológica
- Tabla 7. Índices bioclimáticos para localidades con sistemas de médanos de Argentina
- Tabla 8. Ubicación de los nebkhas en barlovento y sotavento de tres megadunas
- Tabla 9. Movimiento medio de arena en barlovento y sotavento.
- Tabla 10. Valores de DP para distintos sistemas eólicos del mundo
- Tabla 11. Morfometría de las cubetas detectadas en distintos geotopos
- Tabla 12. Valores de conductividad (micro siemens/cm) de localidades cercanas a los Médanos Grandes
- Tabla 13. Ubicación de los perfiles para Tomografía eléctrica
- Tabla 14. Valores de resistividad, % saturación y gramos de agua /100 gr de arena, para distintas profundidades con arenas del sistema de Médanos Grandes y agua destilada.
- Tabla 15. Cuadro comparativo sintético de la vegetación de los Médanos Grandes
- Tabla 16. Composición específica de la comunidad de *Panicum urvilleanum*
- Tabla 17. Espectro biológico y de coberturas de la comunidad de *Panicum urvilleanum*
- Tabla 18. Composición específica de la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*
- Tabla 19. Espectro biológico y de cobertura de la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*
- Tabla 20. Composición específica de la comunidad de *Prosopis flexuosa*
- Tabla 21. Espectro biológico y de cobertura de la comunidad de *Prosopis flexuosa*
- Tabla 22. Composición específica de la comunidad de *Atriplex lampa*
- Tabla 23. Espectro biológico y de cobertura de la comunidad de *Atriplex lampa*
- Tabla 24: Diversidad de las comunidades
- Tabla 25. Presencia espacial en porcentaje de cada geotopo en las subunidades geomorfológicas
- Tabla 26. Unidades fisiográficas, relieve y vegetación de los Médanos Grandes
- Tabla 27. Paisajes Vegetales de los Médanos Grandes

INDICE DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1. Ubicación de las trece localidades analizadas.

Figura 2. Promedio de precipitaciones de estaciones meteorológicas El Encón, Vallecito y Bermejo.

Figura 3. Frecuencia de los vientos con velocidad crítica (mayor a 22 km /hora).
Fuente: Estación Meteorológica Las Chacritas (1951-1990)

Figura 4. Rosa de los vientos construida a partir de información de la estación meteorológica Las Chacritas (1951-1990)

Capítulo II

Figura 5. Ubicación de los Médanos Grandes al sureste de la provincia de San Juan

Figura 6. Imagen Color Natural 123.

Figura 7. Imagen Falso Color 742.

Figura 8. Imagen resultado de la aplicación de NDVI

Figura 9. Imagen Falso Color Tasseled Cap

Figura 10. Firmas espectrales de distintos sectores de los médanos con escasa cubierta vegetal (< 30%).

Figura 11. Firmas espectrales de vegetación en distintos sectores de los Médanos Grandes.

Figura 12. Combinación RGB: MDE-Pendiente-Rugosidad

Figura 13. Modelo Digital de Elevación vectorial (TIN).

Figura 14. Unidades y subunidades geomorfológicas a escala 1:100.000

Figura 15. Vista satelital y local de la subunidad 1.1.

Figura 16. Perfil de la subunidad 1.1

Figura 17. Vista satelital de la subunidad 1.2.

Figura 18. Perfil de la subunidad 1.2

Figura 19. Perfil de la subunidad 1.3.

Figura 20. Imagen satelital de interdunas húmedas del NE de la subunidad 1.3

Figura 21. Vista satelital de la subunidad 1.4

Figura 22. Perfil de la subunidad 1.4

Figura 23. Vista satelital de la subunidad 2.1 correspondiente al área influida por el río San Juan

Figura 24. Perfil del área de influencia del sistema fluvial del río San Juan

Figura 25. Vista satelital y local de la subunidad 2.2 influida por el río Bermejo

Figura 26. Perfil del área de influencia del sistema fluvial del río Bermejo

Figura 27. Perfil del área sur de la unidad sin megadunas

Capítulo III

Figura 28. Nebkha en barlovento con estacas graduadas ubicadas en orientación norte, este, oeste y sur.

Figura 29. Transectas con estacas graduadas en: a) cresta con menos del 5 % de cobertura, b) Cresta con más del 50 % de cobertura

Figura 30. Datos morfométricos registrados en una cubeta de erosión hídrica ubicada en un intermedano alto.

Figura 31. Dirección de vientos inferida a partir del movimiento de arena en barlovento.

Figura 32. Dirección de vientos inferida a partir del movimiento de arena en sotavento.

Figura 33. Movimiento de arena (en cm) en los nebkhas de barlovento para distintas orientaciones

Figura 34. Movimiento de arena en los nebkhas de sotavento para distintas orientaciones

Figura 35. Promedios de depositación y deflación de acuerdo a las orientaciones en nebkhas ubicados en barlovento y sotavento

Figura 36. Resultados de ANOVA para barlovento (B) y Sotavento (S)

Figura 37. Resultados de ANOVA para distintas orientaciones

Figura 38. Movimiento de arena en crestas con diferente cobertura vegetal e intermedanos altos

Figura 39. Rosa de arena para los Médanos Grandes (1951-1990)

Figura 40. Valores medios de volúmenes de arena removidos en cubetas de erosión hídrica ubicadas en intermedanos, barlovento y sotavento.

Capítulo IV

Figura 41. Corte Geológico Norte –Sur desde la bajada pedemontana de Pie de Palo hasta el norte del sistema eólico.

Figura 42. Perfil del Cañadón del Puesto

Figura 43. Fallas geológicas situadas en el área en estudio y puntos de agua subterránea muestreados por el Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS) en la bajada pedemontana de Pie de Palo, cercanías de El Encón y Bermejo.

Figura 44. Distribución de los perfiles geofísicos. P1: perfil 1 sobre cresta de médano, P2: perfil en intermedano alto, P3: perfil de enlace.

Figura 45. Equipo y electrodos de medición geofísica mediante el Dispositivo Wenner-Schlumberger

Figura 46. Cuba de arena en estufa y distribución de electrodos para los ensayos de Resistividad – Gradiente de Humedad en laboratorio.

Figura 47. Imagen obtenida por tomografía eléctrica para tres perfiles ubicados en una megaduna de los Médanos Grandes.

Figura 48. Relación: tasa de resistividad) a tres profundidades y contenido de agua

Figura 49. Correlación entre resistividad y contenido de agua en arena de los Médanos Grandes. 1) a 45 cm de profundidad, 2) a 37 cm de profundidad, 3) a 30 cm de profundidad.

Figura 50. Modelado 3D del subsuelo con datos de resistividad

Figura 51. Superposición del Modelo Digital de elevación y la imagen NDVI

Figura 52. Intermédanos con freática cercana a la superficie ubicados al NE del sistema eólico (subunidad geomorfológica 1.3)

Figura 53. Intermédanos con freática por escurrimiento subsuperficial relacionada con los cañadones del norte del sistema (subunidad geomorfológica 1.2)

Figura 54. Intermédanos relacionados con el bulbo húmedo ubicados a más de 690 m

Capítulo V

Figura 55. Ubicación de algunas áreas en que se realizaron censos florísticos y transectas de relevamientos

Figura 56. Grupos de relevamientos por especies

Figura 57. Análisis de componentes principales considerando los ejes I -II, I - III y II – III

Figura 58. Distribución de las especies en el espacio dimensional de los ejes I y III y la indicación de su relación con las geoformas

Figura 59. Relación espacial entre variables ambientales y ejes de ordenación

Figura 60. Imágenes de la comunidad de *Panicum urvilleanum* a) en crestas activas con escasa cobertura vegetal, b) en crestas fijas por la vegetación.

Figura 61. Cobertura específica de la comunidad de *Panicum urvilleanum*

Figura 62. Espectro biológico compensado de la comunidad de *Panicum urvilleanum*

Figura 63. Imagen de la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*

Figura 64. Cobertura específica de la comunidad de *Tricomaria usillo- Bulnesia retama*

Figura 65. Espectro biológico compensado de la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*

Figura 66. Imagen de la comunidad de *Prosopis flexuosa* en intermédano

Figura 67. Cobertura específica en la comunidad de *Prosopis flexuosa*

Figura 68. Espectro biológico compensado de la comunidad de *Prosopis flexuosa*

Figura 69. Imagen de la comunidad de *Atriplex lampa*

Figura 70. Cobertura específica en la comunidad de *Atriplex lampa*

Figura 71. Espectro compensado de comunidad de *Atriplex lampa*

Figura 72. Dinamismos de la vegetación en médanos e intermédanos

Capítulo VI

Figura 73. Paisaje vegetal de los Médanos Grandes: Paisaje I de Sistema eólico y Paisaje II de Sistema fluvio-eólico

Agradecimientos

Al Programa de Postgrado en Biología PROBIOL de la Universidad Nacional de Cuyo.
Al Director de la Tesis, Dr Eduardo Martinez Carretero, por su invaluable orientación, generosas enseñanzas, trabajo compartido y permanente compromiso con la educación pública.

A los Miembros del Tribunal Examinador: Dr Marcelo Cabido, Dr Esteban Jobbagy y Prof. Emer. Bruno Cavagnaro por sus valiosos aportes a la tesis.

A los Miembros del Comité Tutorial: Dr Fidel Roig y Dr Marcelo Cabido quienes se mantuvieron en permanente contacto durante el desarrollo del trabajo, alentando y contribuyendo con sugerencias y observaciones.

Al Lic. Victor Sanchez (INA-San Juan), Mg. Alberto Vich, Dr Antonio Dalmaso, Dr Manuel Mamani (CCT Mendoza), Lic. Valentina Soria (UNSJ) quienes compartieron los trabajos de campo y colaboraron en el análisis de aspectos geomorfológicos, florísticos, geofísicos y de teledetección.

A todos los colegas, amigos y familiares por el permanente apoyo profesional y emocional.

Introducción General

Los sistemas eólicos y la vegetación

A nivel global las áreas cubiertas por arena alcanzan al 20% de los desiertos (Pye y Tsoar, 1990), constituyendo sistemas sammófilos que por la movilidad de los suelos, elevada infiltración y muy bajo contenido en materia orgánica, entre otros factores, constituyen ecosistemas particulares.

Se presentan en casi todas las zonas climáticas, en climas continentales, áridos y semiáridos, como dunas continentales, y también como un cinturón relativamente angosto de dunas litorales. En cualquier situación forman un importante, único y complejo sistema físico-ecológico, resultado de una constante interacción entre los procesos geomorfológicos y biológicos, que en condiciones extremas hace posible la manifestación de uno u otro proceso con mayor fuerza, resultando en dunas activas (sin vegetación) o estabilizadas (con vegetación) (Van Der Meulen y Jungerius, 1989).

Desde el punto de vista ecológico las dunas son ambientes extremos, las fluctuaciones de temperatura en el suelo son muy amplias (Hueck, 1950; Morello, 1956; Dalmasso *et al.*, 1988; Maun, 1998), ocurre desecamiento transitorio de la capa superior del suelo (Hueck, 1950) y además el efecto del viento es intenso y diferencial (Gandullo, 1998; Bértola *et al.*, 2005; Giles *et al.*, 2007). En estos ambientes tan adversos sólo algunas especies pueden sobrevivir constituyendo en general unidades de vegetación poco variadas (Eskuche, 1992; Muller-Hohenstein, 1992).

La dinámica de los ecosistemas dunarios se explica fundamentalmente por la interrelación entre arenas móviles y vientos constantes y regulares (Müller-Hohenstein, 1992), siendo de gran importancia los cambios en la velocidad del viento inducidos por la topografía de la duna (Qian *et al.*, 2009). La relación movimiento de arena-vientos, diferencial para cada geotopo, es uno de los factores ecológicos más importantes para la vegetación, porque transporta, deposita y retira material, con el cual cubre y descubre las plantas determinando procesos de enterramiento y desenterramiento que reducen la germinación de semillas, su supervivencia y crecimiento (Maun, 1998).

La mayor actividad eólica se produce en las laderas de barlovento y en crestas, porque la velocidad del viento aumenta a medida que asciende; mientras que en sotavento, por expansión del flujo, la velocidad y su capacidad de transporte disminuyen (Gutierrez Elorza, 2001). Wiggs *et al.* (1995) y Thomas *et al.* (2005) en el Kalahari estudiaron los movimientos de arena y la cobertura vegetal sugiriendo que las variables limitantes al movimiento de sedimentos superficiales varían en diferentes partes de una duna, considerando que en interdunas la principal variable limitante es

la energía eólica disponible, mientras que en las crestas y parte superior de laderas es la cobertura vegetal.

Otro aspecto relevante en las dunas es la disponibilidad de agua. En lugares con poca precipitación y largos períodos de sequía es posible encontrar sistemas sammófilos que disponen de biotopos que permiten la presencia de plantas, debido a que en ellos hay mayor disponibilidad de agua en profundidad (Hueck, 1950; Muller-Hohenstein, 1992). En Argentina, Hueck (1950), Morello (1956) y Dalmaso *et al.* (1988) estudiaron la disponibilidad de agua en médanos determinando variaciones de humedad en los primeros 50 cm de profundidad. Hueck (1950) señaló que las diferencias en el grado de humedad de capas superficiales y profundas de los médanos se debe a la falta de elementos arcillosos, de manera que el agua evaporada en superficie no es reemplazada por capilaridad en igual proporción quedando en profundidad mayor humedad. Walter y Breckle (1984) en dunas continentales sin cobertura vegetal del desierto de Thar encontraron que el agua disponible para las plantas a 1 m de profundidad es cerca de 40 mm duplicándose a los 2 m. La distribución vertical de humedad a mayores profundidades habitualmente se estudia mediante técnicas geofísicas. Romero Castellanos (2007) estudió las reservas de agua disponibles en las dunas costeras de Guardamar y las características hidroquímicas del ecosistema dunar. Para ello utilizó: sondeos mecánicos que le permitieron conocer la profundidad del nivel freático y tomar muestras para estudios hidroquímicos; métodos geofísicos para conocer la distribución vertical de la humedad y el radar de penetración en tierra para estudiar la distribución de las raíces de dos especies arbóreas.

A escala regional, las dunas exhiben cambios en el patrón espacial de la estructura vegetal relacionados con el clima, los gradientes en la disponibilidad de agua y los niveles de salinidad (Moreno-Casasola, 1986). A escala local, la correspondencia entre fisiografía y vegetación de las dunas ha sido descrita como resultado del movimiento de arena debida a procesos de erosión eólica e hídrica y la localización geomorfológica (Doing, 1985; Moreno-Casasola *et al.*, 1986; Muller-Hohenstein, 1992).

En las dunas costeras los cambios de la vegetación se relacionan principalmente con el gradiente mar-tierra, ello ha permitido describir transectas con el significado de secuencias ecológicas y estadios de la sucesión (Muller-Hohenstein, 1992). En las dunas continentales los aspectos geomorfológicos resultan relevantes, la topografía y el grado de estabilización, que a su vez modifica a la propia topografía,

están asociados a condiciones ambientales y juegan un papel fundamental para determinar las comunidades vegetales que se establecen (Moreno Casasola, 2004).

La vegetación de dunas continentales de Arabia y Norte de África ha sido intensamente estudiada siendo las poáceas y ciperáceas, entre las especies herbáceas, y las fabáceas, poligonáceas y efedráceas, entre las leñosas, las familias más frecuentes en el biótomo dunario, existiendo muchas especies vicariantes cuyos géneros colonizan todos los ecosistemas dunarios en el mundo (Muller-Hohenstein, 1992).

En Argentina diversos autores han analizado la vegetación samófila, entre ellos: Cabrera (1936 y 1940) que trabajó en las dunas de Miramar; Holtz (1995) en Mar Chiquita, Monserrat (2010) en las dunas de la costa bonaerense; en dunas continentales, Hueck (1950) en Salta; Roig *et al.* (1980) en las tierras altas de San Carlos, Mendoza, Eskuche (1992) desde la región costera atlántica hasta el Espinal; Gandullo *et al.* (1998) en Senillosa y Plotier, Neuquén y Martínez Carretero (2004) en el sur de Mendoza y norte de Neuquén y su relación con la vegetación samófila de toda la Argentina.

Hueck (1950) en los médanos de Cafayate describe la asociación *Sporobolus rigens* para las crestas y los médanos migratorios y la asociación de *Gomphrena martiana-Heliotropium mendocinum* para los intermédanos. Cabrera (1945) para el oeste de Buenos Aires describe para los médanos fijos asocies de *Panicum urvilleanum* y *Poa lanuginosa*, para los médanos semifijos asocies de *P. urvilleanum* y *Hyalis argentea* y para los médanos activos consocies de *P. urvilleanum* indicándola como característica de los médanos vivos del norte y centro de Argentina. Frenguelli *et al.* (1939) en los pajonales de La Pampa describen médanos vivos con *Hyalis argentea* siendo esta especie predominante en las dunas del subárido de Buenos Aires alejadas del mar (Eskuche, 1992).

Florísticamente la vegetación samófila pertenece a la clase *Panico urvilleani-Sporoboletea rigentis* Esk., 92 y al *Sporobolo rigentis-Panicion urvilleani* Esk., 92 de las dunas costeras de clima templado subárido de Buenos Aires, caracterizada por la presencia de *Panicum urvilleanum*, *Sporobolus rigens*, *Hyalis argentea*, *Senecio filaginoides*. En este orden Martínez Carretero (2004) indica la asociación *Hyalietum argenteae latisquamae* como comunidad de médanos activos azotada por el viento. Numerosos elementos de esta comunidad alcanzan las dunas costeras como *S. rigens*, *P. urvilleanum*, *H. argentea* var. *latisquama*, acompañados por *Calycera crassifolia* y *Thelesperma megapotamicum* de los médanos continentales (Cabrera, 1936, 1940; Eskuche, 1973, 1992; Martínez Carretero, 2004).

Desde el punto de vista del paisaje vegetal, la geosinfitosociología (Rivas Martínez, 1976) considera que todo paisaje está dado por un conjunto de unidades subordinadas, existiendo combinaciones de tipos de vegetación que forman complejos de asociaciones característicos de cada región paisajística.

Los significados que se han dado a la palabra paisaje han variado a través del tiempo, desde la idea de paisaje como conjunto de formas que caracterizan un sector determinado hasta la visión integral de la naturaleza, estableciéndose en la primera mitad del siglo XX la mayor parte de las bases teóricas de su estudio.

Diversos autores han propuesto definiciones de paisaje, entre ellos: Berg (1931), Bertrand (1968), Bolos (1981), Tricart y Killian (1982), Forman y Godron (1986), Lamotte (1980), Delpech (1988). Para todos ellos constituye una unidad geográfica limitada formada por una combinación dinámica de elementos y procesos físicos, biológicos y antrópicos relacionados entre sí que dan lugar a un conjunto armónico que los caracteriza e identifica.

El estudio del paisaje vegetal, a partir del marco teórico de la geosinfitosociología, implica una visión dinámica de la vegetación, por lo que se aborda el análisis de las series dinámicas, las comunidades de máxima madurez (estabilidad) y sus etapas, apoyándose en conocimientos florísticos, fitosociológicos, corológicos y geomorfológicos. De esta manera, el paisaje vegetal es considerado como una unidad geográfica formada por una combinación dinámica de elementos y procesos físicos, biológicos (florísticos) y antrópicos que dan lugar a un conjunto armónico que lo caracterizan y diferencian de otros (Martinez Carretero y Roig, 1992). La geosinfitosociología, incorpora a las unidades de vegetación factores físicos como la topografía y las unidades geomorfológicas (Rivas Martínez, 1976).

Área de estudio

Durante el Pleistoceno, en el centro de Argentina, se desarrolló un extenso mar de arena denominado Sistema Eólico Pampeano caracterizado por el predominio de facies eólicas arenosas en el centro y sur y facies eólicas más finas en el este, noreste (Iriundo *et al.*, 1996). Los Médanos Grandes ubicados en el sector sur-sureste de la provincia de San Juan, entre los 31° 40'S-67° 42'W y los 32° 00'S-68° 10'W, formarían parte del mismo (Tripaldi, 2002).

Las barreras topográficas y los vientos de dirección sud-sudoeste, sudeste y nor-noroeste, fueron factores apropiados para la formación de estas extensas acumulaciones de arena sobre el Alto Estructural denominado Médanos Grandes cubriendo rocas del Terciario Superior y sedimentos de piedemonte. Rocca (1969)

considera a la región como un desierto de sombra de montaña, Cevallos (1996) los define como “erg”, término geográfico que designa cualquier extensión de dunas del Sahara (Strahler, 1982) o una superficie de arena que cubre como mínimo 150 km².

Cevallos (1996) considera a los Médanos Grandes como un sistema dinámico donde la variabilidad de patrones evidencia el efecto de la topografía en los vientos señalando que las orientaciones de las megadunas, dunas y vientos son incoherentes con el régimen actual de vientos, representando tres estadios diferentes que no deberían abarcar más de 15.000 años. Para Tripaldi (2002) las unidades geomorfológicas delimitadas en su trabajo pueden ser correlacionadas con algunos de los estadios climáticos propuestos por Iriondo y Krohling (1996) abarcando un período de 77.000 años. Para esta autora, paleovientos provenientes del sudoeste permitieron el desarrollo del sistema eólico conocido como Mar de Arena Pampeano e influyeron en la formación de las megadunas y dunas de los Médanos Grandes. Paleovientos posteriores (36.000-15.000 años) con orientación noreste hicieron migrar las megadunas y dunas principalmente del sur debido al efecto de barrera de la Sierra de Valle Fértil.

Fitogeográficamente el sistema sammófilo pertenece a la provincia del Monte (Morello, 1958; Cabrera, 1976), destacándose como un sector de alto interés fitogeográfico y ecológico por su magnitud espacial, continentalidad y aislamiento norte, este y oeste.

Los estudios realizados en la zona son escasos, a pesar de la importancia que supone en la región, tanto como formación geomorfológica, como por el interés biológico y desde el punto de vista turístico y paisajístico. El conocimiento actual se relaciona fundamentalmente con su geología, geomorfología, sedimentología e hidrogeología (Sánchez, 1985; Suvires, 1984, 1991; Cevallos, 1996; Tripaldi, 2002), careciendo de estudios florísticos, fitosociológicos y sinecológicos.

Objetivos de la Tesis

El objetivo general de la tesis es contribuir al conocimiento de la vegetación sammófila del centro-oeste de la Argentina mediante el análisis geosinfitosociológico (florístico y sinecológico) de la vegetación de los Médanos Grandes (San Juan).

Los Objetivos específicos son:

- Estudiar florísticamente la vegetación de los Médanos Grandes.
- Analizar las relaciones geomorfología-vegetación.

- Interpretar la dinámica de la vegetación a través del análisis de gradientes, principalmente erosión eólica y humedad.
- Proponer el esquema sintaxonómico de la vegetación.
- Elaborar el esquema geosinfitosociológico o paisaje vegetal.

Hipótesis General

La Hipótesis de trabajo es que la vegetación sammófila de los Médanos Grandes, debido a su continentalidad y relativo aislamiento geográfico, presenta comunidades y series dinámicas propias; respondiendo la distribución de sus comunidades vegetales principalmente a factores locales.

Estructura de la tesis

La tesis se divide en siete capítulos. En el primero se analiza bioclimáticamente la zona de estudio comparándola con otros sistemas sammófilos continentales argentinos. En el segundo se estudia el área con criterios geomorfológicos mediante el empleo de técnicas de teledetección y trabajos de campo.

En los capítulos tres y cuatro se analizan los procesos geomorfológicos más importantes de la dinámica dunar, el efecto del viento y las formas de disponibilidad de agua para las plantas en distintos geotopos.

En el capítulo cinco se analiza la vegetación. Se presenta el estudio fitosociológico, se plantea el dinamismo vegetal y se la ubica sintaxonómicamente. En el capítulo seis se integra la información geomorfológica y florística y se determinan geosinfitosociológicamente los paisajes vegetales de los Médanos Grandes. En el capítulo siete se presentan las conclusiones.

CAPÍTULO I

Caracterización Climática

1.1 Introducción

El clima de San Juan está dominado por el Anticiclón Subtropical Semipermanente del Atlántico. Los sistemas orográficos aíslan la provincia de las masas de aire húmedo imprimiéndole a este espacio un carácter continental y árido.

Según la clasificación de Köeppen el clima es "desértico" (BW), con concentración estival de las precipitaciones (w); éste mismo tipo climático se encuentra en otros desiertos del Hemisferio Sur como el Kalahari y el australiano y del Hemisferio Norte como del Colorado, Sahara, Gobi y Península Arábiga (Poblete, 1999).

El área de estudio integra la Diagonal Árida de América del Sur y el Eje de Mínima precipitación media anual de la Depresión de Vinchina-Bermejo (Poblete, 1999) correspondiendo a la subvariedad BWwka (k = temperatura media anual menor de 18°C) que cubre la mayor parte del territorio sanjuanino generalmente entre los 800 y 1800 m (Poblete *et. al.*, 1989)

A escala provincial existe fuerte incidencia de la geomorfología en la distribución de la precipitación y la temperatura de manera que las diferencias notables de las geoformas dan lugar a diversidad climática en distancias relativamente cortas, por lo que resulta más apropiado hablar de una topoclimatología de San Juan (Poblete, 1999).

El objetivo de este capítulo es caracterizar bioclimáticamente al área de estudio y compararla con otros sistemas eólicos de Argentina. Se espera que debido a la continentalidad el sistema de médanos presente características bioclimáticas que lo diferencien de otros sistemas eólicos.

1.2 Metodología

Para el estudio bioclimático se emplearon los datos de precipitación y temperatura provenientes de las estaciones meteorológicas Encón, Vallecito y Bermejo y datos de vientos de las estaciones meteorológicas de Las Chacritas, todas circundantes y fuera del sistema de médanos.

Para el cálculo de temperaturas y precipitaciones de localidades carentes de observaciones se siguió la técnica propuesta por De Fina (1992) que alcanza un r^2 de 0.94 para la precipitación y r^2 0.96 para la temperatura. Se calcularon valores para diversos sectores dentro el sistema de Médanos Grandes, teniendo en cuenta las unidades geomorfológicas delimitadas (Figura 1). Para el cálculo se trianguló cada punto con las estaciones más cercanas y se consideró el gradiente por distancia horizontal y por altitud. Para la evapotranspiración potencial se aplicó el coeficiente de $t^*68,64$ desarrollado para zonas desérticas (Le Houérou, 1990)

A partir de los datos para el período 1951-1990 de la estación Las Chacritas se construyó la rosa de los vientos considerando la velocidad promedio y dirección.

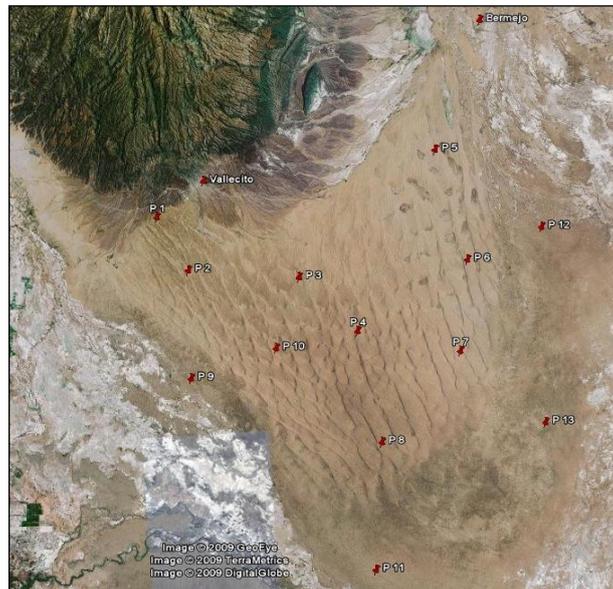


Figura 1. Ubicación de las trece localidades analizadas climáticamente considerando diferentes sectores de unidades geomorfológicas delimitadas en este estudio

Se calculó el Índice Termopluviométrico (ITP) (Martínez Carretero, 2004) y el de aridez (P/ETP). Se calcularon además para el sistema medanoso en estudio los índices de: continentalidad simple (Ics) (basado en la amplitud térmica entre los meses de registros extremos), de continentalidad compensado (Icc) (que se ajusta según la latitud), ombrotérmico (Io) (que considera la precipitación en los meses con temperaturas positivas) y de mediterraneidad (I) (relación entre la evapotranspiración potencial del mes más cálido y la precipitación del período estival). Se estableció el bioclima correspondiente para el área de estudio.

Con el objetivo de ubicar comparativamente el bioclima de Médanos Grandes en el contexto de las áreas medanosas argentinas que cuentan con estudios florísticos (Tabla 7) se calcularon los índices precedentes para una localidad de valle preandino (Andalgalá, Catamarca), ambientalmente similar a la de los médanos de Cafayate (Salta), otra con médanos continentales extrandinos (Médanos de Picardo, San Rafael, Mendoza) y otra con médanos costeros (La Plata).

1.3 Resultados

1.3.1 Temperatura

Los datos de temperatura obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas Encón, Vallecito y Bermejo (período 1941-1950) se muestran en la Tabla 1.

La temperatura media del mes más frío es de 8,4 °C y la del mes más cálido de 25,9 °C. Considerando las trece localidades seleccionadas en Médanos Grandes (Figura 1), la diferencia en los valores obtenidos para invierno fue de 1,4°C y para verano de 1,6 °C, lo que indica similaridad en los registros; a pesar de ello, el sector NO es el que presenta menor temperatura y el SE es el más cálido.

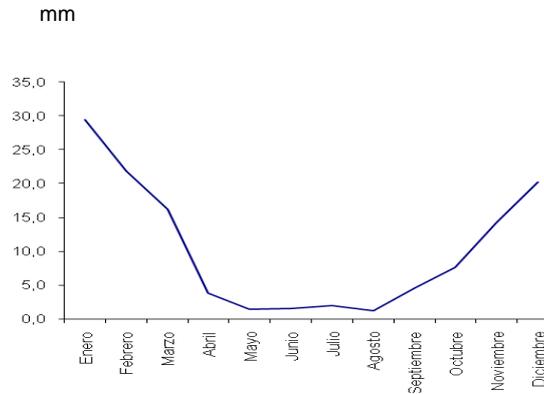
Tabla 1. Temperatura media calculada para los meses de enero y julio para los 13 puntos seleccionados en el sistema de Médanos Grandes

Temperatura media calculada (1941-1950)	Julio (°C)	Enero (°C)
PUNTO 1	7,6	24,9
PUNTO 2	8,2	25,6
PUNTO 3	8,3	25,8
PUNTO 4	8,4	25,9
PUNTO 5	8,6	26,1
PUNTO 6	8,5	25,9
PUNTO 7	8,4	25,9
PUNTO 8	8,4	25,9
PUNTO 9	8,3	25,6
PUNTO 10	8,3	25,8
PUNTO 11	8,5	26,0
PUNTO 12	8,6	26,1
PUNTO 13	8,6	26,2
MEDIA	8,4	25,91
Desviación	0,28	0,34
Variación	1,4	1,6

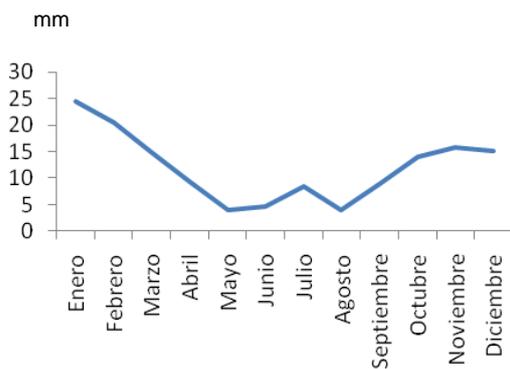
1.3.2 Precipitación y Evapotranspiración Potencial

Para el cálculo de la precipitación se emplearon los únicos datos disponibles, provenientes de las estaciones meteorológicas: Encón (1971-1985), Vallecito (1910-1973) y Bermejo (1911-1973) (Figura 2).

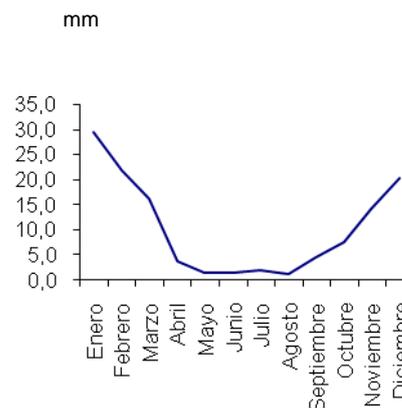
La Estación Vallecito, ubicada al NO de los Médanos Grandes, presenta un leve aumento de precipitaciones en el mes de julio.



Precipitación media de El Encón (1971-1985)



Precipitación media de Vallecito (1910-1973)



Precipitación media de Bermejo (1911-1973)

Figura 2. Promedio de precipitaciones (mm) de estaciones meteorológicas El Encón, Vallecito y Bermejo

Se calcularon valores de precipitación para los puntos seleccionados y los promedios para cada mes, evidenciando el carácter estival de las mismas (Tabla 2), la precipitación media anual es de 140,82 mm. El déficit hídrico anual es aproximadamente de 1168 mm (Berra y Ciancaglini, 1979).

Tabla 2. Precipitación (en mm) calculada para las 13 localidades analizadas de los Médanos Grandes

Mes/Localidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Media	Desv.
Enero	27,4	21,8	25,2	29,6	30,6	30,6	30,0	30,9	32,4	26,02	34,39	34,54	36,89	30,05	4,15
Febrero	19,2	20,1	20,8	21,7	21,6	21,9	21,8	22,0	22,3	21,05	22,81	22,76	23,28	21,68	1,12
Marzo	11,7	13,1	14,5	16,3	17,2	16,7	16,4	16,7	17,5	14,85	18,18	18,37	19,28	16,24	2,15
Abril	8,32	4,64	4,83	5,1	7,27	5,09	4,83	4,84	5,7	4,75	4,87	4,45	3,87	5,27	1,21
Mayo	1,8	1,3	1,68	2,19	1,83	2,22	2,33	2,54	2,49	1,89	3,12	2,42	2,82	2,20	0,49
Junio	3,4	1,14	2,95	3,52	2,07	3,62	3,67	3,84	3,85	3,14	4,43	3,56	3,76	3,30	0,85
Julio	5,6	4,2	4,89	5,99	3,08	6,19	6,31	6,65	6,62	5,28	7,83	6,09	6,52	5,79	1,21
Agosto	4,59	1,25	1,63	2,25	3,4	2,23	2,1	2,26	2,92	1,71	2,7	1,57	1,28	2,38	0,92
Septiembre	5,15	5,61	5,9	6,41	5,24	6,49	6,63	6,87	6,57	6,16	7,5	6,63	7,15	6,33	0,70
Octubre	8,61	8,62	9,2	10,1	8,71	10,2	10,5	10,9	10,6	9,65	12,11	10,61	11,49	10,12	1,10
Noviembre	14,8	14,4	14,6	14,8	14,3	14,8	14,8	14,8	14,9	14,66	15,07	14,8	14,83	14,77	0,18
Diciembre	11,3	28,0	25,9	22,8	19,7	22,0	23,1	22,9	19,3	25,69	20,82	23,51	25,29	22,35	4,14

La Evapotranspiración Potencial calculada para cada punto dentro del sistema de médanos se indica en la Tabla 3. La ETP para todo el sistema es de 1778 mm.

Tabla 3. Evapotranspiración potencial para las localidades seleccionadas

Localidad	Julio((mm)	Enero mm)
1	522	1709
2	563	1757
3	570	1771
4	577	1778
5	590	1792
6	583	1778
7	577	1778
8	577	1778
9	570	1757
10	570	1771
11	583	1785
12	590	1792
13	590	1798
Media	577	1778

1.3.3 Consideraciones climáticas por unidad y subunidad geomorfológica

Los valores promedios calculados considerando diferentes sectores en cada unidad geomorfológica (establecidas en el Capítulo 2) se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores medios de temperatura, precipitación y ETP por unidad geomorfológica en el sistema Médanos Grandes

Unidad	Sub-unidad	Temperatura media mínima °C	Temperatura media máxima °C	Precipitación invierno (mm)	Precipitación verano (mm)	ETP Julio (mm)	ETP Enero (mm)
1	1.1	7,9	25,3	10,1	76,4	542	1737
	1.2	8,4	25,9	10,5	88,2	577	1778
	1.3	8,5	26,1	10,3	90,4	583	1792
	1.4	8,4	25,9	12,4	92,1	577	1778
2	2.1	8,3	25,8	15,7	93,9	570	1771
	2.2	8,6	26,2	21,5	203,9	590	1798

El sector NO de los Médanos Grandes es el que presenta menor temperatura y menor precipitación. El S-SE, en cambio, es más cálido y el de mayores precipitaciones.

1.3.4 Vientos

Considerando datos de la Estación Meteorológica Las Chacritas (1951-1990), situada a 15 km al oeste de los Médanos Grandes, se determinó el período con mayor frecuencia porcentual de vientos con velocidades superiores a los 22 km /h, velocidad crítica para provocar el movimiento de arena (Yizhaq *et al.*, 2007) (Figura 3):

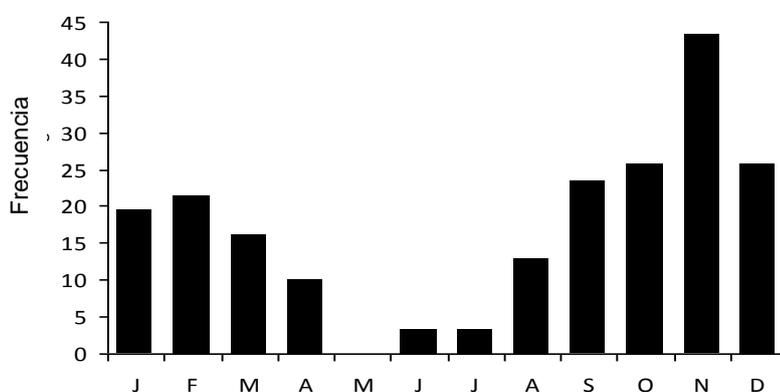


Figura 3. Frecuencia de los vientos con velocidad crítica (mayor a 22 km /hora). Fuente: Estación Meteorológica Las Chacritas (1951-1990)

Los vientos más intensos corresponden al periodo más seco (Setiembre: Pp: 6,33 mm, ETP: 85, Octubre: Pp: 10,12 mm, ETP: 112, Noviembre: Pp: 14,7mm, ETP: 133, Diciembre: Pp:22,35, ETP:147) con lo que se acentúa su efecto erosivo. La frecuencia de vientos con velocidades críticas indica que la primavera es la época de mayor actividad en el movimiento de arena, resultados similares encontró Dalmasso *et al.* (1988) para Lavalle (Mendoza).

La rosa de los vientos que se construyó para este período considerando las velocidades promedio y direcciones indica como las más importantes las direcciones SE, E y S (Figura 4).

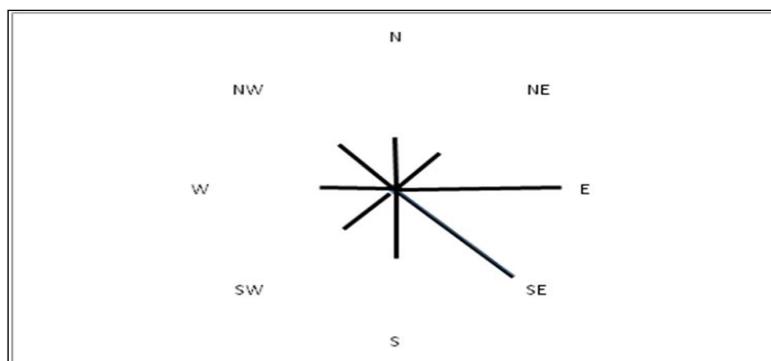


Figura 4. Rosa de los vientos construida a partir de información de la estación meteorológica Las Chacritas (1951-1990)

1.3.5 Índices bioclimáticos

Para la caracterización bioclimática se utilizó el Índice Termopluviométrico propuesto por Martínez Carretero (2004) que considera la temperatura media del mes más cálido, la temperatura media del mes más frío y la precipitación media anual:

$$ITP = P * 100 / (t_{mc} - t_{mf})^2$$

Considerando los datos teóricos medios calculados para los Médanos Grandes el índice resulta: $ITP = (140,82) * 100 / (25,91 - 8,4)^2 = 45,92$ (hasta 50 corresponde hiperárido)

El Índice de Aridez, para Enero y Julio, para cada punto se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Índice de aridez para las localidades seleccionadas

	Enero	Julio
1	0,016	0,010
2	0,012	0,007
3	0,014	0,008
4	0,016	0,010
5	0,017	0,005
6	0,017	0,010
7	0,016	0,010
8	0,017	0,011
9	0,018	0,011
10	0,014	0,009
11	0,019	0,013
12	0,019	0,010
13	0,020	0,011

El Índice de aridez para Enero, para cada subunidad geomorfológica del sistema de médanos, se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Índice de aridez por subunidad geomorfológica

Subunidad	I.A. Enero
1.1	0.044
1.2	0.049
1.3	0.050
1.4	0.051
2.1	0.053
2.2	0.113

La subunidad 2.2 presenta un valor de aridez casi el doble mayor que el resto de las subunidades. El índice de aridez medio para todo el sistema, para Enero, es de 0,06.

El Índice de continentalidad simple es de 17,5; el Índice de continentalidad compensado de 1,55; el Índice ombrotérmico de 0,41; el Índice de mediterraneidad de 1,97 y el Índice de aridez de 0,12.

El análisis conjunto de todos los índices permite definir al bioclima de la región como Tropical Hiperárido.

En la Tabla 7 se presentan los índices bioclimáticos calculados para otros sistemas eólicos argentinos que cuentan con estudios florísticos, siendo los Médanos Grandes los de mayor aridez.

Tabla 7. Índices bioclimáticos para localidades con sistemas de médanos de Argentina

Localidad	Ics	Icc	Io	Im	Ia	ITP	Bioclima
Cafayate (Salta-c/datos de Andalgalá)	15.4	1.55	---	0.89	0.23	54.30	Tropical árido
Médanos Grandes	17,5	1,55	0.41	1.97	0,12	45,92	Tropical hiperárido
Médanos de Picardo (San Rafael, Mendoza)	15.9	1.3	2.10	1.21	0.33	71.6	Templado semiárido superior
La Plata (Bs.As.)	12.8	0.64	---	0.58	0.80	218	Templado subhúmedo

1.4 Conclusiones

Bioclimáticamente, en el sistema de médanos de Argentina septentrional, los Médanos Grandes marcan el límite austral de los sistemas sammófilos pertenecientes al régimen Tropical árido ubicados al oeste de los 66° de longitud presentando características bioclimáticas particulares.

Las temperaturas mínimas y máximas no difieren significativamente entre las unidades delimitadas en el sistema eólico. En cuanto a las precipitaciones, el sector marginal sur-sureste es el más húmedo, duplicando los registros del noroeste en el período invernal y triplicándolos en el estival.

El factor climático condiciona la dinámica dunaria, en el periodo de primavera-verano se dan condiciones óptimas que favorecen la deflación, con vientos con dirección predominante sureste, este y sur, y precipitaciones menores a los 40 mm, lo que favorece que el material arenoso de los campos de dunas se seque en superficie, aumentando su capacidad erosiva.

CAPÍTULO II

Caracterización Geomorfológica

2.1 Introducción

En Argentina los depósitos eólicos se encuentran ampliamente distribuidos presentándose en las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Luis, San Juan, Mendoza, Córdoba, Neuquén y sectores de la Patagonia; sin embargo, las acumulaciones de arena de San Juan resultan sorprendentes por su apreciable cobertura areal y su potencia significativa (Suvires, 1991) (Figura 5).

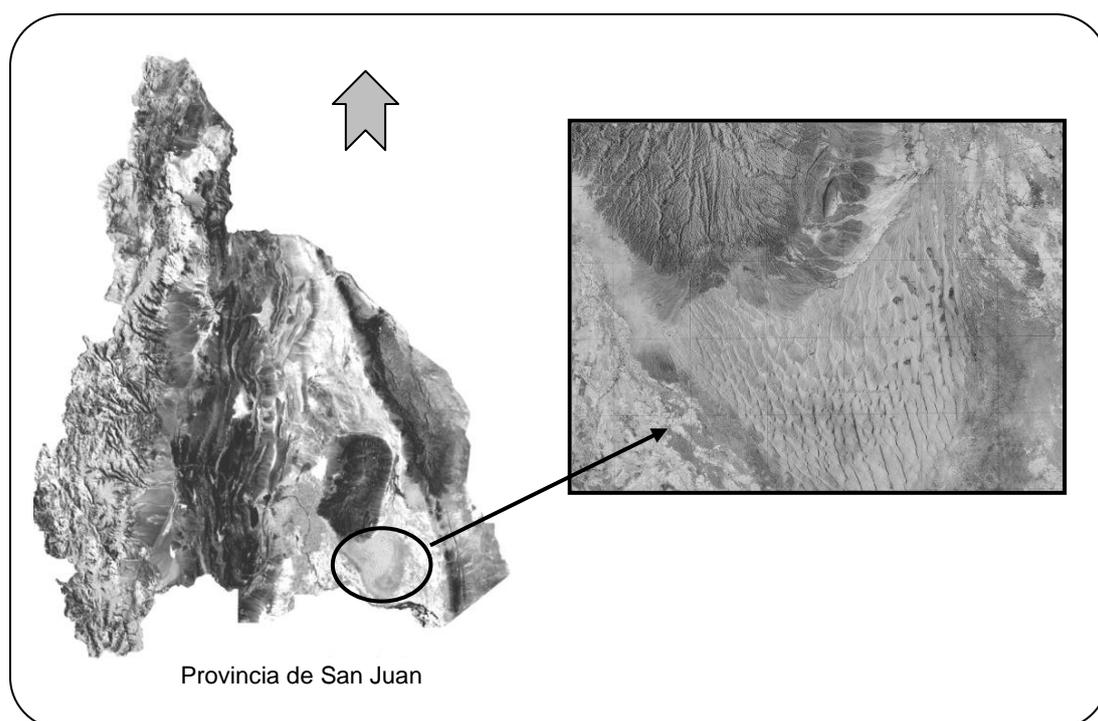


Figura 5. Ubicación de los Médanos Grandes al sureste de la provincia de San Juan

Los Médanos Grandes se ubican geológicamente en la Provincia Geológica Sierras Pampeanas Occidentales en la que representan la fracción de los depósitos cuaternarios de menor edad (Zambrano, 1976).

Regionalmente el área se enmarca entre la Precordillera Oriental al oeste y el complejo estructural conformado por las Sierras de Valle Fértil–La Huerta al este. La primer unidad se levantó como efecto del sistema de falla de la Sierra Chica de Zonda situada en el borde oeste de la elevación y está constituida por afloramientos de rocas calcáreas (calizas, margas) de ambiente marino, asignadas al Cámbrico–Ordovícico (Aparicio, 1984). A este conjunto se superponen estratos de rocas sedimentarias de ambiente continental (conglomerados, areniscas, limonitas, arcilitas, tobas, etc.) asignados al Paleozoico Superior y Terciario que se hunden hacia el este bajo los

potentes mantos (entre 10 y más de 600 m de espesor) de sedimentos fluvio aluvionales depositados por el río San Juan.

Las Sierras de Valle Fértil–La Huerta como la de Pie de Palo están constituidas principalmente por rocas metamórficas intruidas por cuerpos granitoides de edad Precámbrica (Basamento Cristalino y Metamórfico), sobre las que yacen las mismas rocas del Terciario que cubren a la Precordillera. En el caso de Pie de Palo la cubierta terciaria se dispone como una aureola bordeando la totalidad de los afloramientos del Basamento Cristalino. Todo este conjunto rocoso se halla parcialmente cubierto por sedimentos aluvionales (aglomerados, grava, arena) que integran al piedemonte de la sierra en todas direcciones y por depósitos de arena eólica más o menos continuos que tienen su mayor expresión en los Médanos Grandes.

Estructuralmente el área se caracteriza por el desplazamiento vertical de bloques del Basamento Cristalino y Metamórfico con el complejo rocoso que le sobreyace a lo largo de fallas longitudinales inversas de alto ángulo superficial y también por fallas menos importantes por su extensión superficial. La Sierra Pie de Palo debe su aspecto a fallas situadas en sus flancos que se hunden hacia el norte y el sur perdiendo identidad superficial, no obstante en el extremo austral del bloque generan un Alto Estructural, en relación a las depresiones laterales, donde se asientan los Médanos Grandes.

El ambiente se caracteriza por las elevaciones montañosas antes mencionadas separadas entre sí por los valles fluviales originados por el río San Juan al oeste (Valle de Tulum) y el río Bermejo al este (Travesía del Bermejo). Estos sistemas fluviales se originan y alimentan en ambientes geológicos–geográficos diferentes, aunque en ambos la alimentación es coincidente ya que captan el escurrimiento hídrico derivado de las precipitaciones nivales de sus cabeceras y pluviales a lo largo de su recorrido.

El Sistema del río San Juan se origina en la Cordillera de los Andes del extremo suroeste de la provincia y capta toda una red de avenamiento de aproximadamente 30.000km² de superficie. La historia evolutiva de este cauce hídrico, en el Valle de Tulum, indica que desde las Quebradas de Zonda (desembocadura primigenia) y de Ullum, el río se ha desplazado a lo largo y ancho de la depresión erosionando la margen occidental de los Médanos Grandes, depósitos a los que ha cortado en su extremo sur.

El Río Bermejo tiene sus nacientes en la Cordillera del NO de la provincia de La Rioja donde es alimentado por acumulaciones nivales. Con dirección oeste–este atraviesa el extremo norte de la Precordillera y luego con franco sentido meridional ingresa a la Provincia de San Juan recostándose sobre el flanco occidental del tren

estructural de Valle Fértil–La Huerta hasta su desembocadura a las Lagunas del Rosario en el límite tripartito de San Juan, Mendoza y San Luis desde donde nace el río Desaguadero. Históricamente este cauce fluvial se ha desplazado a lo ancho de la Travesía del Bermejo erosionando el flanco oriental de los Médanos Grandes.

Los estudios sedimentológicos de Tripaldi (2002) caracterizaron las arenas que forman los Médanos Grandes con predominio de fragmentos líticos (volcanitas, esquistos micáceos, anfíbolitas, milonitas, chert, clastos sedimentarios y de caliza) con moderados porcentajes de feldespatos y escasa participación de cuarzo. Para esta autora las volcanitas representan un claro aporte de material desde el oeste de Precordillera y Cordillera Frontal, mientras que las metamorfitas representan el aporte de las Sierras Pampeanas y, en especial, por las vecinas Sierras de Valle Fértil y Pie de Palo asociando estas características a la dominancia de vientos de distintas direcciones.

Suvires (1984) desde el punto de vista geomorfológico propuso que los Médanos Grandes presentan dos sectores con variaciones en la topografía de los depósitos eólicos, tipo de formas deposicionales, sedimentos y contenido de humedad. Cevallos (1996) diferenció por tamaño, forma y orientaciones dos jerarquías de formaciones deposicionales eólicas: las megadunas y las dunas, subdividiendo el área en cinco sectores isomorfos a escala 1:100.000. Tripaldi (2002) identificó cinco unidades geomorfológicas de acuerdo a la diferente morfología, tamaño, orientación y dirección de migración, correspondiéndose algunas de ellas con las propuestas por Cevallos (1996).

Según Morello (1958) y Rundell *et al.* (2007), entre otros, en los desiertos los factores geomorfológicos, a escala de paisaje, controlan la heterogeneidad (distribución) de la vegetación. Esto es importante también a escala local ya que, por ejemplo, en los sistemas sammófilos desde el valle dunario hacia la ladera aumenta la velocidad del viento, el transporte de arena y la acción mecánica sobre las plantas, disminuyendo en la misma dirección el agua disponible en el suelo.

El objetivo de este capítulo es determinar y describir las unidades geomorfológicas a escala 1:100.000 para el sistema de médanos.

La hipótesis es que existen distintos sistemas de modelado en función de la altura de los médanos creciente hacia el centro del sistema y la influencia marginal de los ríos.

2.2 Metodología

2.2.1 Análisis de imágenes satelitales

Para el estudio de los Médanos Grandes se procesó una ventana de la imagen LANDSAT 5 TM del 23 de marzo de 2005, con un path/row 231/082, obtenida gratuitamente del Global Land Cover Facility (GLCF). El tratamiento de la imagen se realizó con el Programa ERDAS Image 9.1, utilizando las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7, en el Instituto de Investigaciones Mineras de la UNSJ. Para este objetivo se realizaron tareas de:

1-Georeferenciación: La imagen utilizada se reconvirtió a Gauss Krugger, Faja 2, Datum WGS 84.

2- Análisis visual: permitió incorporar a la interpretación digital criterios que ayudaron a separar coberturas que presentan un comportamiento espectral semejante. Para ello se tuvo en cuenta el tono en las distintas bandas, el color y la textura de la imagen.

3-El tratamiento digital de la imagen consistió en:

3.1. Técnicas de realces: a) combinación de bandas: se realizaron falso color 742 y 123, b) filtros: realzaron las características de la imagen aislando componentes de interés.

3.2. Transformaciones: a) NDVI (Normalizad Difference Vegetation Index): para potenciar las características espectrales y mejorar la discriminación de la vegetación con respecto al suelo, y b) Transformación Tasseled Cap que da origen a tres nuevas imágenes que se relacionan con el porcentaje de suelos desnudos (IBS), con la vegetación de la escena (IV) y la humedad del suelo (IHS).

3.3. Análisis espectral de las coberturas de la imagen que permitan identificar y sectorizar los médanos.

2.2.2 Análisis topográfico

El satélite Landsat 5 TM del 23 de marzo de 2005 provee un MDE, con resolución espacial de 30m. Este modelo de tipo raster que se utilizó para modelar topográficamente el territorio, es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Los MDE, una forma de MDT, son representación de las elevaciones del terreno mediante valores numéricos, generalmente es una forma simplificada de la geometría de la superficie del terreno (Felicísimo, 1997).

La pendiente derivada del MDE se define a partir de una función polinomio de 4º orden que se ajusta a la superficie del terreno. Para estimar la cobertura de rugosidad se

utilizó la varianza de la pendiente calculada en submatrices a partir del modelo digital de elevación (Martínez Casanovas, 1998).

A partir del MDE raster se generaron curvas de nivel con equidistancia de 50 m para elaborar un modelo vectorial de tipo TIN que se puede definir “como una estructura de datos que se componen de triángulos irregulares, que se constituyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales y se adosan sobre el terreno formando un mosaico, que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve” (Felicísimo, 1997).

Debido a la inexistencia de cartas topográficas para toda el área, se tomaron de referencia las que corresponden al norte del sistema eólico: 3169-35-4: El Refugio, escala 1:50.000; 3169-35-2: La Chimbera, escala 1:50.000; 3169-36: Vallecito, escala 1:100.000; 3169-30: Bermejo, escala 1:100.000, complementando la información de base. Se analizaron también las cartas topográficas del IGM: 3169-IV (San Juan) y 3369-II (Mendoza-San Juan) con el fin de delimitar áreas isomorfas.

El programa ERDAS Image 9.1, se utilizó en la confección del modelo raster y sus productos derivados. Arc View 3.3, permitió realizar el MDE vectorial sobre el que se superpusieron los puntos de censos tomados con GPS y a partir de allí se determinaron las áreas para trazar los perfiles topográficos para caracterizar cada área dentro del sistema de médanos.

2.3 Resultados

2.3.1 Interpretación del análisis de imágenes satelitales

Las combinaciones RGB de bandas 123 y 742 permitieron diferenciar fundamentalmente las áreas de mayor cobertura vegetal.

En la imagen originada por la combinación de bandas 123 (Figura 6), se detectan, en el sistema de médanos, dos sectores con diferencias en textura y color. En el sector más claro se observa fundamentalmente el modelado eólico, la orientación de las megadunas y dunas otorga una textura diferente a la del sector marginal, con tonalidades oscuras relacionadas con modelado fluvio-eólico y la presencia de freática. En color blanco se identifican zonas con salinidad.

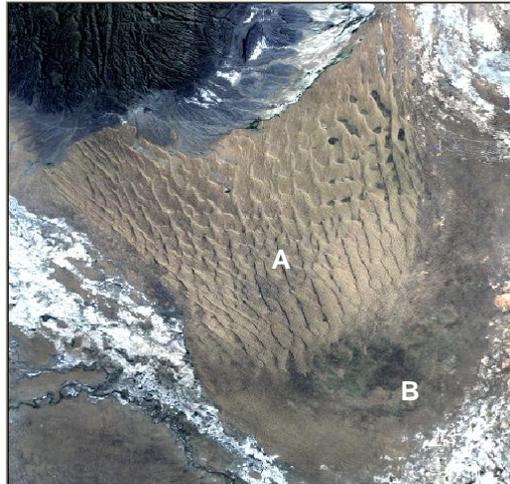


Figura 6- Imagen Color Natural 123. En el sistema eólico se diferencian áreas que presentan distintos procesos de modelado. A: modelado eólico y B: modelado fluvio-eólico

En la imagen Falso color 742 (Figura 7) con distintas intensidades de verde se detecta la vegetación, siendo el color más intenso cuanto mayor sea la cobertura. Al norte de la formación eólica, se observan los cauces de escurrimiento del Pie de Palo especialmente el Cañadón del Puesto, de los Chanchos y del Chiquero. Hacia el este, en extensas áreas de deflación y erosión fluvial, se detectan zonas de gran cobertura vegetal influidas por la cercanía del nivel freático.

Al sur del sistema, en el sector marginal, se aprecian cambios en la cobertura vegetal relacionados con diferente profundidad de la freática debido a fallas geológicas.

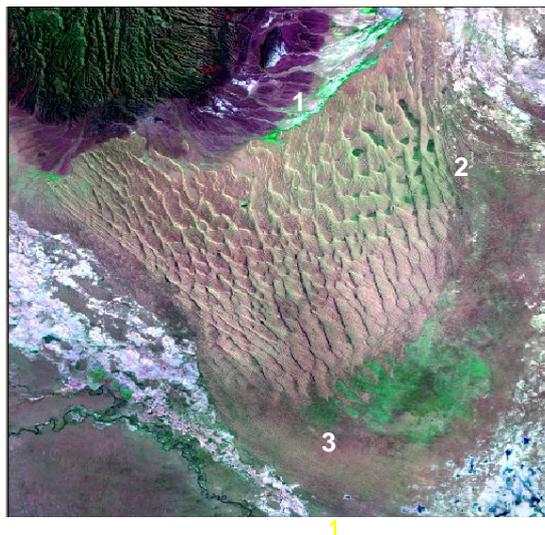


Figura 7- Imagen Falso Color 742. De color verde intenso al norte, noreste y sureste del sistema se observan áreas de mayor cobertura vegetal influidas por los escurrimientos superficiales desde el Pie de Palo (1) y la freática asociada al río Bermejo (2). Fallas geológicas al sur determinan menor influencia de la freática y menor cobertura vegetal (3)

Mediante la aplicación del Índice de vegetación (NDVI) se obtiene una imagen en que las áreas con vegetación se observan en color verde intenso, detectándose en la imagen obtenida escasas zonas con estas características (Figura 8). Este índice tiene correlación positiva con la actividad fotosintética, cubierta de vegetación, biomasa e índice de área foliar (LAI).

En el desierto de Negev, Israel, Schmidt *et al.* (2000) evaluaron el uso de datos satelitales para analizar la cobertura vegetal en dos tipos de entornos semiáridos: dunas de arena y ambiente rocoso, mostrando la dependencia de los valores de NDVI con la cantidad de precipitaciones y la respuesta diferencial de plantas anuales y perennes. Las primeras cambian su contribución a la señal NDVI con un pico en el primer mes de la temporada de lluvias mientras que las plantas perennes son fotosintéticamente activas durante todo el año por lo que no muestran ningún cambio significativo en su contribución de NDVI.

El índice varía de -1 a 1, indicando los valores negativos ausencia de vegetación, presentando un umbral crítico con presencia de vegetación en valores de 0,1 (Chuvienco, 2002), que para la zona de estudio corresponde a vegetación rala y dispersa. Los valores mayores a 0,1 indican presencia de vegetación con un máximo de 0,58 para vegetación más densa.

El histograma de la escena obtenida indica que el 70 % de los píxeles presentan valores menores a 0,1 debido a la escasa cobertura vegetal. Esto es relevante ya que la vegetación, sobre todo la ubicada dentro del sistema medanoso, se encuentra concentrada en los sectores vinculados a la presencia de agua. El 27,43 % de los píxeles tienen valores de 0,1-0,3 (amarillo claro y verde claro, sector oriental y sur del sistema influido por el río Bermejo), 0,5% posee valores entre 0,3-0,5 y un porcentaje mínimo posee valores superiores a 0,5 que corresponderían en su mayoría a la Sierra de Pie de Palo y los fluvios de la bajada pedemontana.

Se realizó una reclasificación de los valores obtenidos en la imagen para generar una nueva imagen con seis clases en las que se identifica la variación en la cobertura de la vegetación en los médanos.

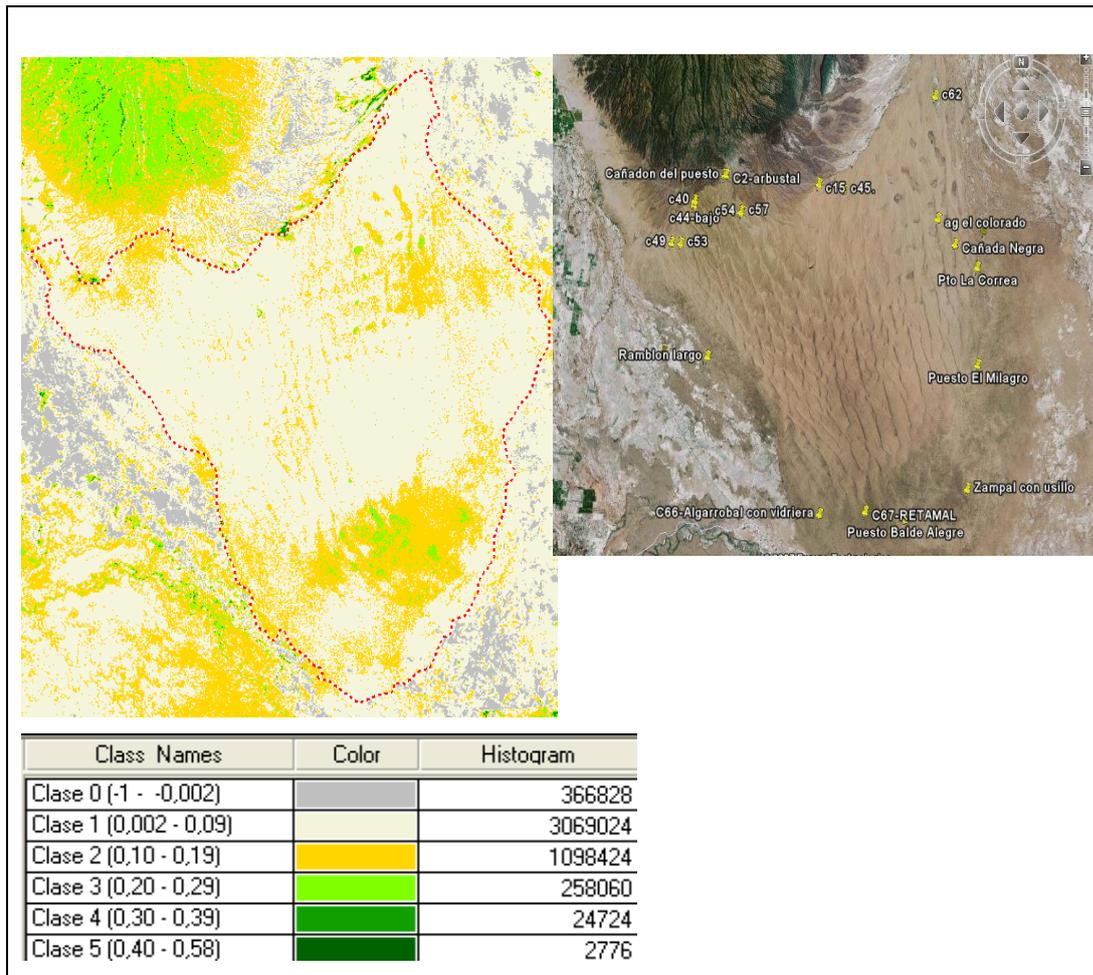


Figura 8- Imagen resultado de la aplicación de NDVI. En color verde los sectores con mayor cobertura vegetal, en gris las áreas con sales en superficie. A la derecha se presenta una imagen satelital con ubicación de algunos relevamientos florísticos realizados durante 2006-2010. Los sectores de los Médanos Grandes con mayor NDVI (clase 3), según los censos realizados durante 2006-2010, corresponden a vegetación con 60 -70 % de cobertura, los de color naranja (clase 2) entre 40-60 % de cobertura

La Transformación Tasseled Cap originó tres nuevas bandas que se utilizaron para realzar rasgos de interés. Las imágenes obtenidas se relacionan con el porcentaje de suelo desnudo (índice de brillantez), con la humedad (índice de humedad) y la vegetación de la escena (índice de verdor).

La imagen Brillo refleja los cambios de reflectividad total de la escena. La imagen Verdor indica el contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo cercano. La imagen Humedad se relaciona con el contenido de humedad de la vegetación y el suelo.

La combinación falso color considerando las tres imágenes precedentes (Figura 9) muestra en tonos amarillo-verdosos las áreas con mayor cobertura vegetal. Esta combinación permite corroborar la influencia de los escurrimientos superficiales al

norte del campo de arena y de la freática cercana a la superficie al noreste y sureste del sistema.

El tratamiento digital efectuado relacionado a los índices de brillantez, vegetación y humedad ha permitido realizar una primera clasificación de áreas con diferente cobertura vegetal. En color amarillo se observan las áreas con mayor cobertura vegetal (más del 60 %) que corresponden al sector norte del sistema con influencia de los cañadones de Pie de Palo, las cuencas intermédanos del este y los sectores marginales del este con influencia de freática. De color azul-verdoso las megadunas y dunas con cobertura vegetal entre el 40-60 %, en azul las megadunas y dunas con escasa cobertura vegetal (menor al 40 %). De color fucsia los sectores marginales (pampas salinas).

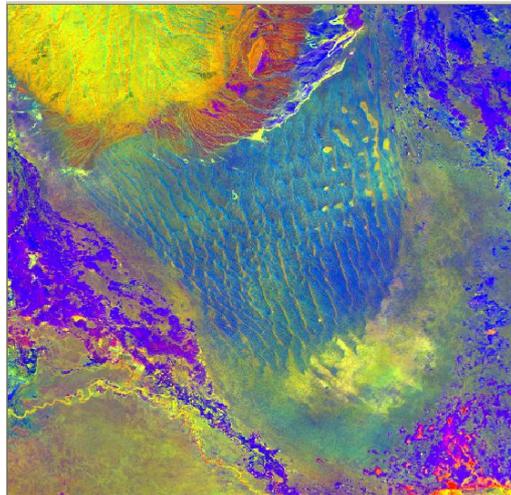


Figura 9- Imagen Falso Color Tasseled Cap. En amarillo: áreas con mayor cobertura vegetal (más del 60 %): sector norte con influencia de los uadis de Pie de Palo (cañadones), cuencas intermédanos del este, sectores marginales del este con influencia de freática. De color azul-verdoso: megadunas y dunas con cobertura vegetal entre el 40-60 %, en azul: megadunas y dunas con escasa cobertura vegetal (menor al 40 %). De color fucsia: sectores marginales (pampas salinas)

Se utilizó la imagen multiespectral para obtener el comportamiento espectral y analizar las firmas espectrales en las bandas TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 y TM7. Se analizó, en primer lugar, el comportamiento espectral de las diferentes formas eólicas que no están influenciadas por la cubierta vegetal. En todos los casos, se presentó una curva típica de suelo con un máximo de reflectividad en la banda 5 (Figura 10).

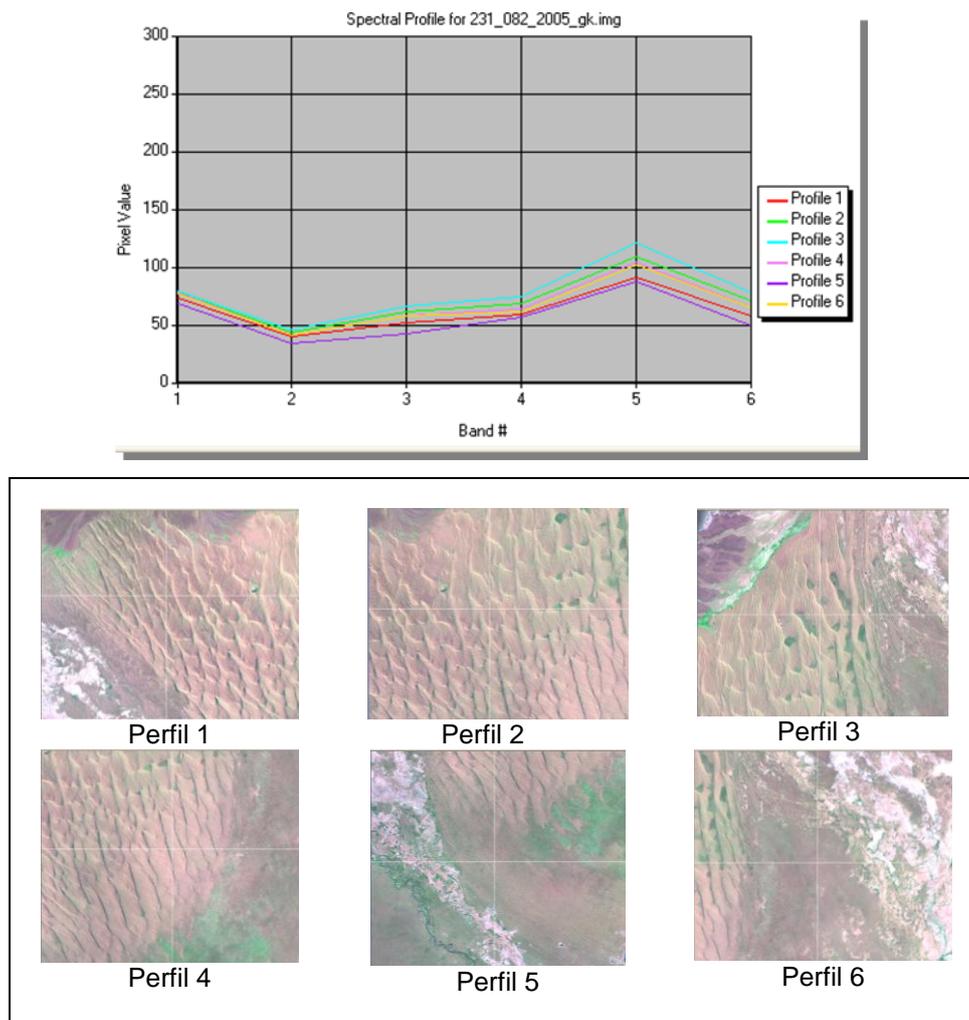


Figura 10- Firmas espectrales de distintos sectores de los médanos con escasa cubierta vegetal (< 40%)

Las firmas espectrales representadas en la Figura 11 muestran la influencia de la vegetación. La reflectividad en la banda 5 disminuye notablemente debido a que el suelo posee cobertura vegetal. Por otro lado se presenta una diferenciación en la banda 4, donde la vegetación posee su máxima reflectividad, indicando la diferencia en el tipo de vegetación que cubre cada una de las zonas que se tomaron de referencia.

La influencia de la mayor cobertura vegetal se ve reflejada en el diseño de la firma espectral 1 y 2. En el caso de la firma espectral 3 hay mayor influencia del suelo (banda 5) y menor contraste entre la banda 3 y 4, característico de vegetación con escasa cobertura (menos del 40 %).

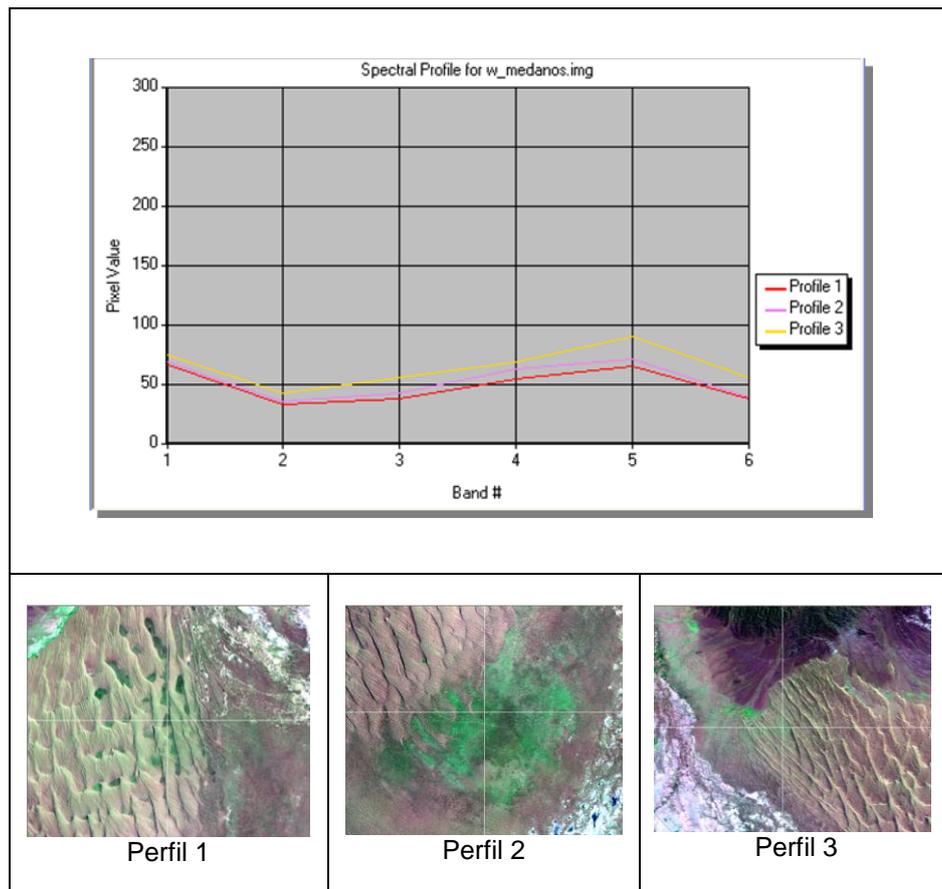


Figura 11- Firmas espectrales de vegetación en distintos sectores de los Médanos Grandes. La firma espectral 3 con mayor reflectividad corresponde al sector de menor cobertura vegetal ubicado al noroeste del sistema sammófilo

2.3.2 Interpretación topográfica

El satélite Landsat 5 TM del 23 de marzo de 2005, provee un MDE, con resolución espacial de 30 m.

Se elaboró un modelo raster a partir del que se obtuvieron tres productos: cobertura de alturas, cobertura de pendientes y cobertura de rugosidad. La aplicación de esta metodología incluyó la combinación de los tres subproductos (Barreda Cano, 1996).

Se construyó el Modelo Digital de Pendiente (MDP) en relación a las distancias, entendiendo a la pendiente como el grado de cambio en la elevación del terreno.

La rugosidad es otra de las variables topográficas de gran importancia es la variación del relieve en el espacio, se utiliza para definir las formas que presenta el relieve, por lo que en la zona de estudio es particularmente útil, discriminando las crestas en color verde intenso y los intermédanos en tonos oscuros.

En la imagen, combinación RGB: MDE-Pendiente-Rugosidad, se pueden observar claramente las diferencias en la dirección de las crestas de las megadunas, como el ingreso de los escurrimientos superficiales del norte en el sistema medanoso permitiendo delimitar sectores isomorfos (Figura 12).

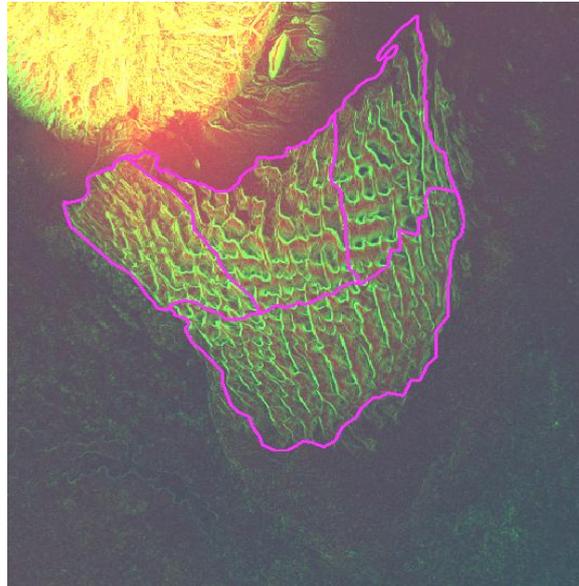


Figura 12- Combinación RGB: MDE-Pendiente-Rugosidad. En el sistema con modelado eólico se delimitaron cuatro sectores teniendo en cuenta la orientación de las megadunas y la influencia del escurrimiento superficial al norte

Posteriormente a partir del MDE raster se generaron curvas de nivel con equidistancia de 50 m para la elaboración de un modelo vectorial de tipo TIN. Se realizaron intervalos de altura de 25 m hasta los 800 m (Figura 13) sobre el que se trazaron 7 perfiles topográficos ubicados en diferentes sectores del sistema.

El valor mínimo de altura para toda la imagen es de 500 m, mientras que el valor máximo es de 1000 m y corresponde a la Sierra de Pie de Palo. Dentro del sistema de médanos el valor mínimo de altura corresponde a 532 m y se encuentra en el sector marginal SE, mientras que los máximos rondan los 800 m y se localizan en el sector NO; las cotas se incrementan en líneas generales en dirección SE-NO.

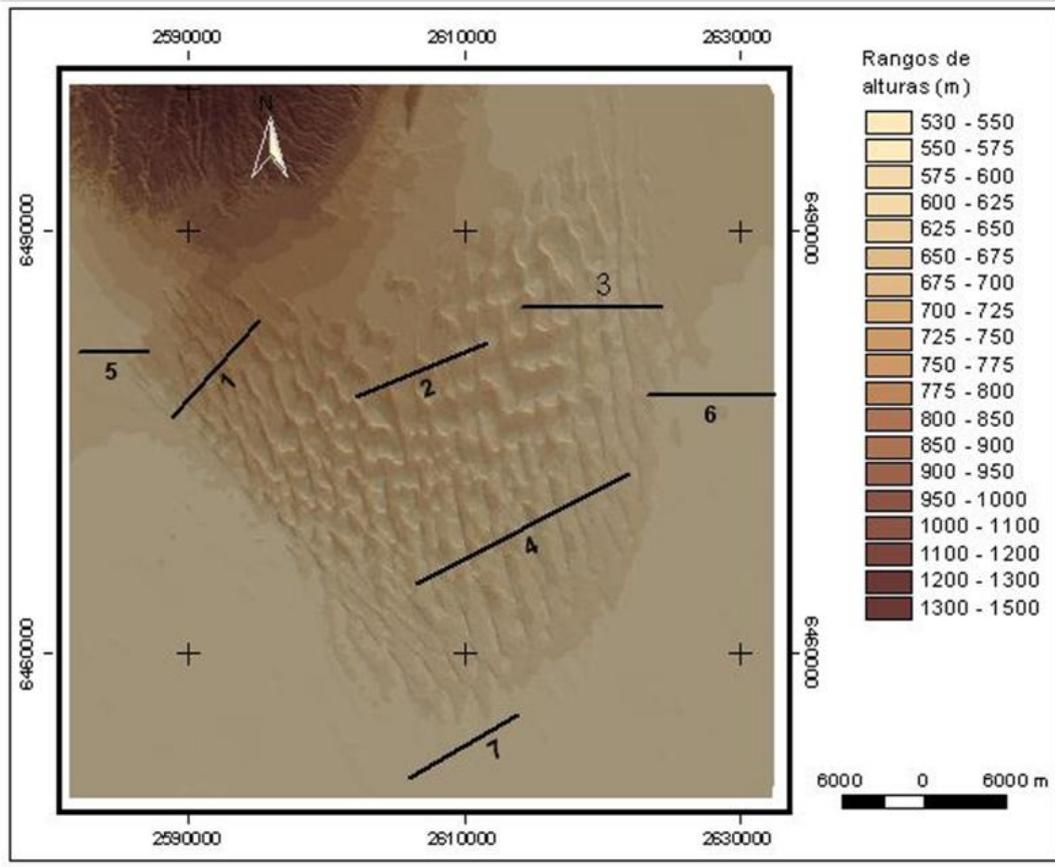


Figura 13- Modelo Digital de Elevación vectorial (TIN). Perfiles topográficos analizados en distintos sectores de los Médanos Grandes: 1 a 7

El procesamiento digital de las imágenes, el Modelo Digital de Elevación junto con el análisis de los perfiles topográficos y la información bibliográfica permitió la delimitación de áreas isomorfas a escala 1:100.000 (Figura 14).

Los patrones detectados para definir las unidades isomorfas tuvieron en cuenta la presencia de:

- Megadunas: formaciones eólicas fijas, con crestas lineares de hasta 20 km con alturas de más de 50 m.
- Dunas: formas eólicas de hasta 50 m de altura.
- Tipología: en relación a la dirección del viento: longitudinales, transversales, según la forma: lineales, seif, barjanas.
- Intermédanos a diferentes alturas topográficas.
- Áreas de erosión fluvial de los ríos San Juan y Bermejo

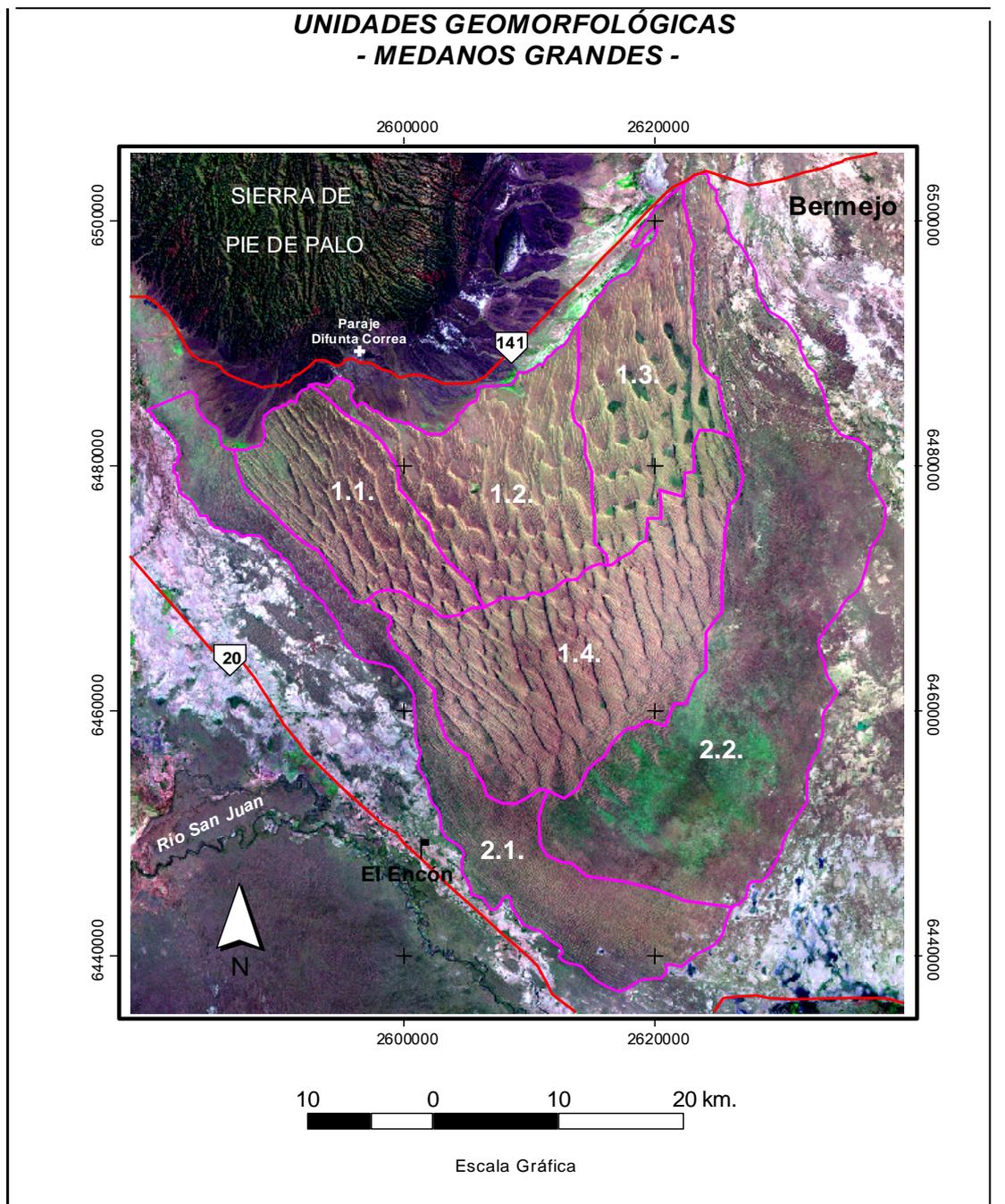


Figura 14- Unidades y subunidades geomorfológicas a escala 1:100.000. La unidad geomorfológica 1 (subunidad 1.1, 1.2, 1.3, 1.4) corresponde al área con megadunas con distintas direcciones. La unidad geomorfológica 2 (subunidad 2.1 y 2.2) corresponde al área sin megadunas con influencia del río San Juan al este y Bermejo al oeste

2.3.3 Descripción de las Unidades Geomorfológicas

Unidad Geomorfológica 1

Área con megadunas con distintas orientaciones

Subunidad 1.1

Corresponde al sector noroeste del sistema eólico (Figura 15). La carta topográfica La Chimbera indica diferencias topográficas del orden de los 40-50 m hasta 100 m. Las mayores cotas alcanzan los 780 m y las menores hasta 590 m. Las formas eólicas que predominan son megadunas con dunas tipo seif. Hacia el noroeste, esta unidad se caracteriza por presentar megadunas de orientación NNO, mientras que hacia el noreste la orientación de los megadunas predominantemente es NO. Las crestas de los megadunas tienen de 3 a 7 km con un espaciado de 0,9 a 1,5 km, en ellas se observan canaletas de deflación. Las dunas, en cambio, con alturas de hasta 20 m, tienen orientaciones muy variables y espaciado de hasta 70 m. Hacia el norte se presenta una zona de transición con el piedemonte de la Sierra de Pie de Palo.



Figura 15- Vista satelital y local de la subunidad 1.1. A la derecha se observa la cresta de una megaduna y el intermédano alto (a más de 690 m)

Corresponde a esta subunidad el Perfil N° 1 (Figura 16) que se extiende en sentido suroeste a noreste desde el margen occidental del sistema sammófilo hacia el extremo norte, con unos 9,2 km de longitud. Se destaca la influencia de los cambios en la orientación de los vientos y la actividad erosiva fluvial en el oeste producida por el río San Juan.

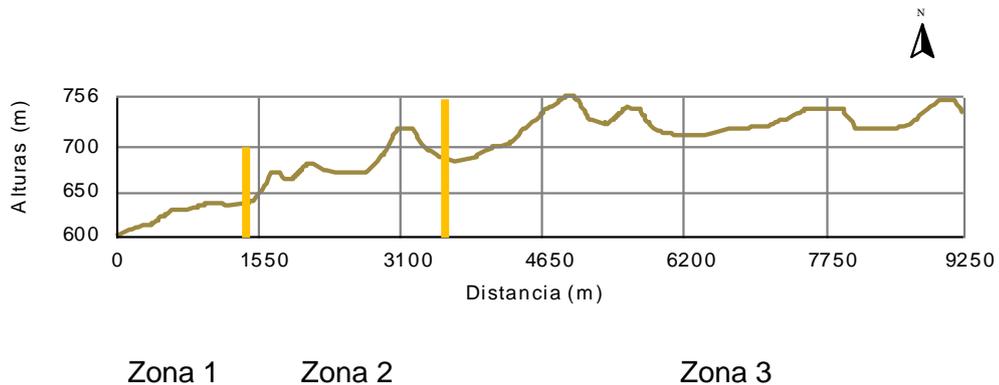


Figura 16. Perfil de la subunidad 1.1 con tres zonas (separadas por las barras amarillas). Se detectan intermedanos a más de 690 m

A partir de las formas de acumulación existentes se destacan tres zonas:

Zona 1: Se desarrolla desde el borde de la masa medanosa por unos 1,5 km de longitud, sus cotas están comprendidas entre los 590 m y 650 m. Se aprecia una degradación tanto de la altura como de las formas medanosas posiblemente relacionada con la erosión fluvial y eólica. Dicha actividad se manifiesta en las formas planas de los sectores situados entre cumbres de médanos y la desaparición del perfil asimétrico, típico de las geoformas eólicas.

Zona 2: Se desarrolla al noreste de la anterior con una extensión de aproximadamente 1,6 km, sus cotas están comprendidas entre los 650 m y los 730 m. Se evidencia una mayor conservación de las formas eólicas pues se observan perfiles asimétricos aunque deformados por efectos de la erosión fluvial y reactivación eólica. La actividad fluvial se destaca por la forma plana de los bajos interdunares propios de lagunas temporarias donde desaguan los pequeños cauces que recorren los montículos medanosos; el efecto de reactivación eólica se aprecia por la evolución del perfil original asimétrico hacia uno de tipo simétrico.

La causa podría corresponderse con vientos de mayor intensidad y distinta orientación a los que dieron origen a las formas primigenias.

Zona 3: Ocupa el sector situado al noreste de la zona 2, se extiende por aproximadamente 5,5 km de longitud y sus alturas están comprendidas entre 700 y 755 m. A lo largo de este tramo del corte se destacan los perfiles asimétricos de las geoformas medanosas mayores y los intermedanos altos situados entre las megadunas ubicados a más de 690 m.

Subunidad 1.2

Ubicada al noreste de la unidad anteriormente descrita se caracteriza por megadunas de tipo transversal que presentan orientación predominante NO y NNE. El tamaño de las crestas es de 2 a 4 km siendo su separación de 2 a 3 km. En el norte la orientación de las megadunas es predominantemente NO (Figura 17).

Existen dunas paralelas y oblicuas a las megadunas de tipo transversal, mejor desarrolladas, sobre la cara de barlovento. De acuerdo a la carta topográfica Vallecito las alturas varían de 30 a 70 m.

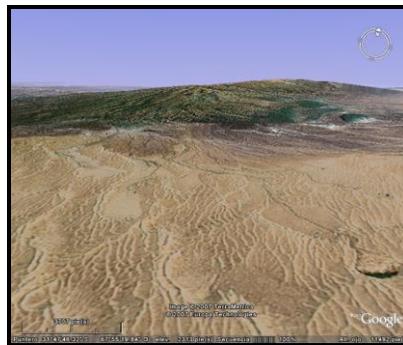


Figura 17- Vista satelital de la subunidad 1.2. Al fondo la sierra de Pie de Palo, se observan los cañadones que ingresan al sistema eólico

Corresponde a esta sub-unidad el Perfil N° 2 (Figura 18) que posee orientación aproximada oeste-este, su longitud es de 10,2 km y se ubica en el sector centro norte del sistema.

Se aprecian cambios profundos en las geoformas originales como respuesta a la actividad erosiva y deposicional de los cauces hídricos que provienen del extremo sur de la Sierra Pie de Palo, que con sus esporádicos torrentes han afectado todo el borde norte ingresando hacia el interior del sistema medanoso generando modificaciones profundas con su actividad o en forma indirecta al facilitar la reactivación de la masa arenosa por el viento.

Para Tripaldi (2002) por la morfología menos definida de las formas eólicas y por las relaciones con el resto de las unidades esta subunidad sería la más antigua de las que componen el campo eólico. Está constituida por arenas finas y muy finas muy bien seleccionadas que podrían estar relacionadas con paleovientos del sudoeste que habrían ejercido influencia en su formación proveyendo materiales finos desde los valles y depresiones occidentales (extensa planicie aluvial del río San Juan, depósitos

morrénicos de Cordillera), mostrando por ello mayor porcentaje de material limo-arcilloso.

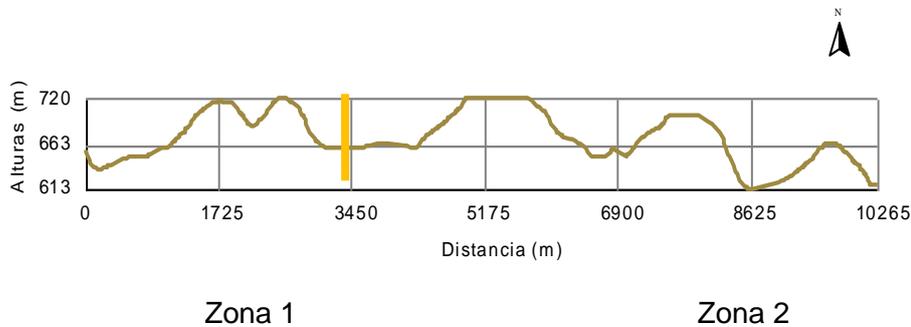


Figura 18. Perfil de la subunidad 1.2 con dos zonas (separadas por las barras amarillas). Las formas originales de las dunas han sido reemplazadas por sectores planizados de origen fluvial producto del ingreso de los escurrimientos desde el Pie de Palo

Se destacan dos zonas:

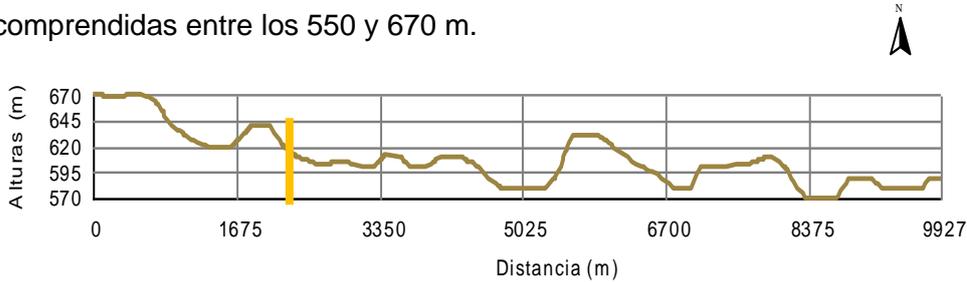
Zona 1: Se desarrolla en el extremo occidental del perfil y posee aproximadamente 3,4 km de longitud. Este tramo se ubica sobre la vertiente de sotavento de una geoforma mayor cuyo perfil original ha sido profundamente modificado. Hacia el oeste la abrupta pendiente original se ha suavizado, quedando reemplazada por una superficie inclinada con montículos medianos sin forma definida. En la cresta se mantiene el perfil asimétrico con pendiente suave a barlovento y abrupta a sotavento. Hay intermedanos altos (mas de 690 m).

Zona 2: Se extiende a lo largo del extremo medio y oriental del perfil y posee unos 6,5 km de longitud. En este sector del perfil las formas originales de las dunas han sido reemplazadas por sectores planizados de origen fluvial y lacustre cuyos flancos son abruptos labrados en la masa de arena. La modificación es tan profunda que ya no se reconocen las megaformas eólicas originales quedando solo relictos muy localizados de aquellas. Se presentan intermedanos ubicados entre los 690-590 m.

Subunidad 1.3

En el extremo oriental de los Médanos Grandes se observa con claridad un área de menor relieve donde predominan megadunas de 50 m, con orientación N-S y dunas de 30 m con orientación predominante al NNO. La separación entre crestas es de aproximadamente 2 km. Las dunas se ubican en forma oblicua y paralela a las megadunas.

El perfil N° 3 (Figura 19) realizado en esta unidad posee aproximadamente 9 km de longitud y se orienta de oeste a este. Sus alturas topográficas se hallan comprendidas entre los 550 y 670 m.



Zona 1

Zona 2

Figura 19- Perfil de la subunidad 1.3 con dos zonas (separadas por las barras amarillas). Se observan intermedanos a 550 m

En el perfil aparecen entre los 600 y 650 m formas asimétricas como relictos de las antiguas geformas eólicas (Zona 1) rebajadas en sus alturas y aplanados o suavizados sus perfiles de barlovento y sotavento; en otros tramos del perfil (Zona 2), se observa el campo de dunas fuertemente influenciado por la acción erosiva del río Bermejo. Este curso hídrico con sus esporádicas avenidas torrenciales ha erosionado gran parte del borde norte y oriental de la masa de médanos provocando profundas modificaciones por la destrucción directa de las formas eólicas mayores. El grado de afectación llega hasta el reemplazo de los bajos intermedanos por formas erosivas fluviales y de acumulación lacustre. En otros sitios se han generado nuevas geformas eólicas de menores dimensiones y orientación distinta por actividad de los vientos que remueven y transportan los antiguos terrenos eólicos en momentos en que el accionar fluvial se detiene por causas climáticas (sequías) o por cambios en la dirección del flujo hídrico. Se presentan extensas interdunas húmedas que se encuentran a 550 m donde es evidente la acción eólica y fluvial. Estas zonas de gran cobertura vegetal están influidas por la cercanía de la napa freática (Figura 20).

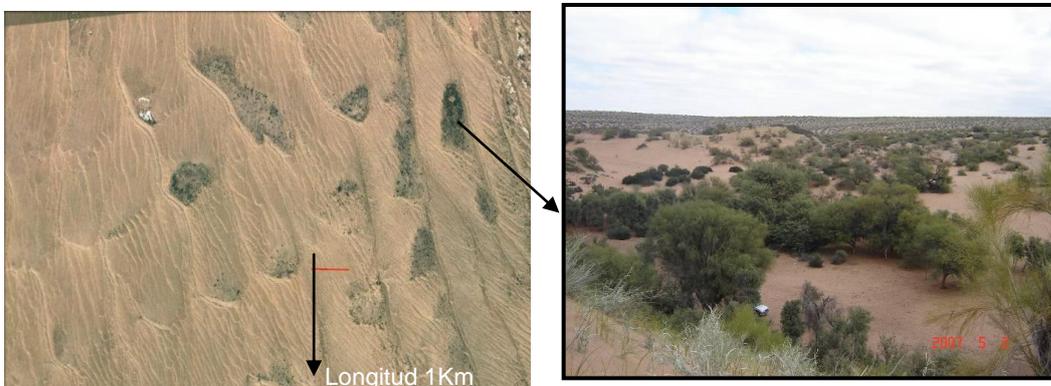


Figura 20- Imagen satelital de interdunas húmedas del NE de la subunidad 1.3. A la derecha foto de la Aguada El Colorado

Subunidad 1.4

Está ubicada en el centro-sur del sistema eólico. Las formas predominantes son megadunas transversales de crestas rectas y dunas transversales y oblicuas de hasta 10 m. La orientación predominante es NNO (Figura 21).

La altura de las megadunas es de hasta 70 m, la longitud de las crestas es de 7 km y la separación entre ellas de hasta 2 Km. Las dunas, sobrepuestas, son de poca altura, 10 m, desarrollándose en general de manera oblicua a las megadunas. Tripaldi (2002) interpreta que la sobreimposición de las dunas no guarda relación con la generación de las megadunas representando un depósito más moderno.



Figura 21. Vista satelital de la subunidad 1.4. Se observa en este sector poca cobertura vegetal probablemente por la intensidad de la erosión eólica

El perfil 4 (Figura 22) se ubica en esta unidad; posee orientación suroeste a noreste y una longitud de 18 km. Las alturas topográficas varían entre 550 y 660 m.

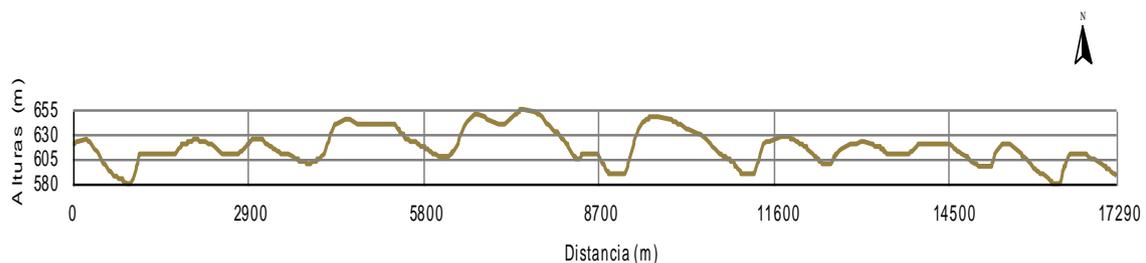


Figura 22. Perfil de la subunidad 1.4. Esta subunidad es la que mejor conserva el modelado eólico

En el corte se destaca con claridad el perfil original de las geoformas eólicas con su relieve asimétrico en el tramo central del perfil, hacia los extremos del perfil se aprecian cambios en el relieve a causa de su exposición a vientos actuales de orientación distinta a las que los originaron. Se aprecian también algunas formas

eólicas que difieren del perfil principal y responden a acumulaciones nuevas desarrolladas en los antiguos bajos interdunales, de allí que su relieve es más suave y redondeado que las de mayor antigüedad.

La erosión eólica actual sería más intensa que en las otras subunidades, por su mayor exposición a los vientos dominantes y la casi ausencia de barreras hacia el este, dinámica de las arenas que influye en una menor cobertura vegetal.

Unidad Geomorfológica 2

Área sin megadunas

Corresponde al sector marginal de los Médanos Grandes. Está constituida por dunas bajas tipo seif paralelas, transversales con orientación NO y NE.

Subunidad 2.1

Corresponde al sector con influencia del sistema fluvial del río San Juan (Figura 23). Se evidencia una fuerte deflación por vientos del sud-sudeste como también la actividad permanente del derrame del río San Juan que está retrabajando los Médanos Grandes, configurando un relieve mixto de yuxtaposición con la planicie aluvial oriental de este fluvio. Se observan frecuentes formas eólicas de baja altura topográfica (inferiores a 15 m) combinadas con barreales salinos y meandros abandonados al oeste.



Figura 23- Vista satelital de la subunidad 2.1 correspondiente al área influida por el río San Juan. Se observan dunas bajas con orientación predominantemente SE-NO

El perfil N° 5 (Figura 24) se ubica al noroeste del área medanosa situándose entre el relieve fluvial del río San Juan y la margen occidental del sistema eólico, posee una longitud de 5 km y sus alturas topográficas están comprendidas entre 590 y 650 m, se orienta de oeste a este.

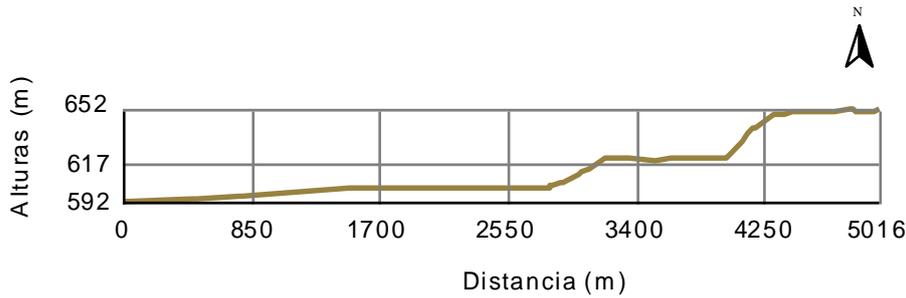


Figura 24. Perfil del área de influencia del sistema fluvial del río San Juan, desde la llanura fluvial hasta el borde occidental del sistema de médanos

Subunidad 2.2

Corresponde a depósitos de arena con dunas transversales influidas por el río Bermejo. En época de riqueza hídrica este cauce llega a penetrar en la geoforma con sus torrentes, degradando las formas eólicas, dejando sus depósitos aluvionales entre las dunas; se reconoce la actividad fluvial por la orientación N-S y su aspecto meandriforme (Figura 25).

Más hacia el este se han formado depósitos de barreales salinos que consisten en arenas de los cauces antiguos y modernos del río, con limos y arcillas de llanuras de inundación, siendo parte de estos materiales sedimentos eólicos retrabajados.

El perfil N° 6 (Figura 26) se ubica al oriente del sistema, extendiéndose a lo largo de 9,2 km, entre el borde de los Médanos Grandes y el ambiente de la planicie aluvial del río Bermejo, su orientación es oeste-este. Las alturas topográficas están comprendidas entre 600 y 550 m.



Figura 25- Vista local y satelital de la subunidad 2.2 influida por el río Bermejo. Las dunas alcanzan los 10 m

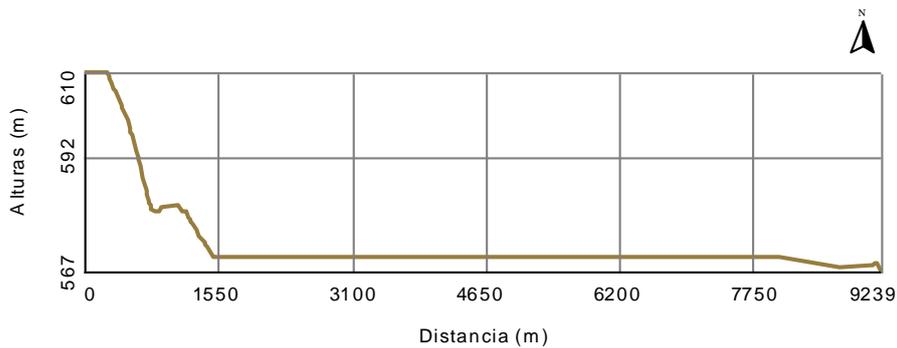


Figura 26- Perfil del área de influencia del sistema fluvial del río Bermejo, desde el borde oriental del sistema de médanos a la llanura fluvial

Los perfiles precedentes son una clara evidencia de la destrucción del borde de los médanos y su reemplazo por geoformas erosivas y deposicionales fluviales y lacustres con alguna manifestación de formas eólicas relictuales o por nueva generación. El relieve mayormente planizado señala la acción erosiva de los flujos hídricos y también de lagunas temporarias. El escalonamiento desde los bordes de médanos hacia las planicies aluviales situadas en sus márgenes indica los frecuentes cambios en la dirección del escurrimiento fluvial, también evidente en aquellos sitios donde el perfil es más abrupto con bordes aguzados propio de cursos activos o abandonados. Entre las mencionadas formas del relieve se aprecian lóbulos de mediana altura que pueden corresponder a relictos de acumulaciones eólicas o en proceso de construcción.

El Perfil N° 7 (Figura 27) se ubica al sur de los médanos con orientación suroeste a noreste, se extiende a lo largo de 9 km y sus alturas topográficas varían entre 535 y 570 m. El relieve representado es típico de una superficie planizada a suavemente ondulada propia de ambientes fluviales. En este caso en particular se aprecian relieves mixtos, ya que las formas hídricas se han superpuesto a un relieve antiguo de origen eólico.

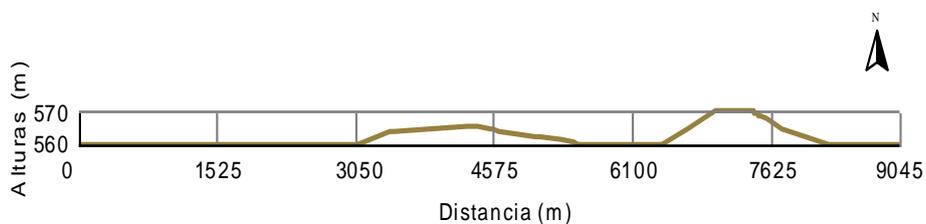


Figura 27- Perfil del área sur de la unidad sin megadunas, se evidencia el modelado fluvial actual sobre el sistema de médanos

2.4 Conclusiones

Los Médanos Grandes se originaron y prosperaron en un clima extremadamente desértico, siendo la orientación y las formas eólicas detectadas en el sistema incoherentes con el régimen actual de vientos evidenciando su origen policíclico. Este ambiente eólico fue posteriormente arrasado en los bordes oeste y este por la erosión de los ríos que integran los sistemas fluviales de San Juan, Bermejo y Mendoza. De esta forma, en los márgenes del sistema, la superficie evolucionó desde geoformas eólicas dominantes hacia formas fluvio-lacustres superpuestas o reemplazantes dejando terrenos con relieve plano-ondulado donde se aprecian lóbulos medanosos de baja altura entre terrenos planos.

Se reconocieron distintos modelados en función de la altura de los médanos, creciente hacia el centro del sistema, y la influencia marginal de los ríos. Teniendo en cuenta la presencia de megadunas se delimitaron y caracterizaron dos áreas isomorfas, a escala 1:100.000, subdividiéndolas según la forma y orientación de las acumulaciones eólicas, formas erosivas eólicas y fluvial e influencia de la freática en:

1. Área con megadunas, que cubre aproximadamente 930 km²
 - 1.1: Sector Noroeste (con influencia del río San Juan al oeste)
 - 1.2: Sector Noreste (con influencia de los escurrimientos superficiales de la sierra de Pie de Palo en el norte)
 - 1.3: Sector Este (con influencia del río Bermejo)
 - 1.4: Sector Sur
2. Área sin megadunas (sector marginal) con una superficie aproximada de 800 km²
 - 2.1: con influencia del sistema fluvial del río San Juan
 - 2.2: con influencia del sistema fluvial del río Bermejo

Las unidades delimitadas se corresponden parcialmente con las de estudios geomorfológicos previos (Suvires, 1984; Cevallos, 1996 y Tripaldi; 2002), ya que el análisis realizado con mayor detalle y los exhaustivos trabajos de campo, han permitido diferenciar intermédanos a distintas alturas topográficas en el modelado eólico: altos (a más de 690 m) y bajos (por debajo de 600 m) y sectores con variaciones en la influencia de la freática en el modelado fluvio-eólico, lo que influye en la composición y distribución de la vegetación.

CAPÍTULO III

Procesos de erosión eólica e hídrica

3.1 Introducción

Los denominados mares de arena constituyen extensas áreas cubiertas por arenas eólicas en las que el viento juega un papel determinante en el modelado y la distribución de las especies vegetales, principalmente por su efecto fisiológico de desecamiento y mecánico de enterramiento-desenterramiento de las plantas (Braun Blanquet, 1979; Ennos, 1997).

La dirección de los vientos, la topografía y la vegetación influyen en los patrones espaciales y temporales de erosión eólica (Fearnehough *et al.*, 1998). El efecto del viento en los médanos es intenso y diferencial, siendo las laderas de barlovento las de máxima erosión. La velocidad del viento aumenta a medida que asciende por barlovento hacia la cresta; en sotavento, por expansión del flujo, la velocidad y su capacidad de transporte disminuyen (Gutierrez Elorza, 2001). Este cambio inducido por la topografía del médano influye en el transporte de arena (Qian *et al.*, 2009) y consecuentemente en la composición de la vegetación (Moreno-Casasola, 1986; González Loyarte, 1990 y 2003; Méndez, 1992; Lortie *et al.*, 2007).

Por otra parte, la cubierta vegetal afecta los movimientos de arena principalmente en crestas y taludes (Wiggs *et al.*, 1995). La vegetación obstaculiza la acción del viento reteniendo partículas, funcionando como trampa de arena (Cooke *et al.*, 1993; Strahler, 1982) generando montículos denominados nebkhas. Los estabilizadores de arena más importantes son los geofitos rizomatosos ya que los brotes se elevan tan rápidamente como se produce la acumulación de arena y así inician la formación de la duna, siendo geomorfológicamente constructores.

Los nebkhas son considerados un tipo de duna fitogenética que presenta distintos estadios de desarrollo. Su morfología, semejante a las dunas, tiene que ver con procesos de erosión-sedimentación provocados por el viento que actúa diferencialmente en cada geotopo y con los arbustos que retienen la arena (Hesp y McLachlan, 2000; Lancaster, 1995).

Los nebkhas son elementos dinámicos con un rol importante desde el punto de vista ecológico porque proveen habitat de cierta estabilidad para la fauna estando, en algunos casos, relacionados con procesos de desertificación (Nickling *et al.*, 1994). Han sido estudiados y descritos en el desierto de Chihuahua al norte de México (Langford, 2000), del Sahel en África (Tengberg y Chen, 1998), norte de China (Wang *et al.*, 2006), Israel (Tsoar y Blumberg, 2002), España (Gutierrez-Elorza *et al.*, 2002), y para la zona árida seca de Argentina (Hueck, 1951; Morello, 1956; Dalmasso *et al.*, 1988 y Martínez Carretero, 2004), como componentes comunes geomorfológico-biológicos de ambientes sammófilos. Su dinámica ha sido estudiada por Ardon *et al.*

(2009) en dunas costeras de Israel, siendo considerados buenos indicadores de los movimientos de arena.

La erosión hídrica es la resultante de la acción combinada del agua en forma de lluvia y del escurrimiento superficial para disgregar y transportar partículas del suelo y de la capacidad del suelo para resistir dicha acción (Vich, 2004). Los factores climáticos, por lo tanto, cumplen un papel importante siendo la precipitación, tanto por su intensidad como por su duración, el elemento desencadenante del proceso.

Las dunas también están sujetas a erosión hídrica que en contraste con la erosión eólica, conduce a nivelación gradual de la topografía de la duna (Jungerius y Decker, 1994).

Dado que los movimientos de arena son fundamentales para la instalación y supervivencia de la vegetación, el objetivo de este capítulo fue analizarlos teniendo en cuenta los procesos de erosión eólica e hídrica en distintos geotopos de los Médanos Grandes.

3.2 Metodología

Se analizó el movimiento de arena en nebkhas de barlovento y sotavento, en crestas con distinta cobertura vegetal, intermedanos altos y en cubetas de erosión hídrica. Se infirió la dirección del viento predominante de acuerdo al promedio del movimiento de arena para cada orientación en los nebkhas. Se analizó la relación de los vientos- cobertura vegetal y la actividad de la duna.

Se calculó para el sistema eólico la deriva potencial de arena (DP: potential sand drift) que es una medida de los vientos netos capaces de movilizar arena. Con los resultados de deriva potencial se elaboró la Rosa de arena que indica la dirección de los vientos erosivos y se calculó la arena transportada aplicando la fórmula propuesta por Fryberger *et al.* (1984).

a. Dinámica de los nebkhas

En el área en estudio se marcaron 20 nebkhas en tres megadunas, 10 en sotavento y 10 en barlovento (Tabla 8). En el borde de cada nebkha se colocaron estacas graduadas al milímetro, de 4mm de diámetro, teniendo en cuenta las orientaciones norte, este, sur y oeste (Figura 28). Las estacas se unieron con cinta métrica y cada 10 cm se leyó la variación de altura. Cada quince días, durante la primavera de 2009, por ser la época con mayor frecuencia de vientos con velocidades críticas de acuerdo a los datos de la Estación Meteorológica Las Chacritas, se registraron las variaciones de altura (erosión-depositación).

En cada nebkha para calcular el volumen se midió la altura y la longitud mayor y menor. La especie dominante en los nebkhas fue *Tricomaria usillo* Hook & Arn.

(Malpighiaceae). Dendrocronológicamente se determinó la edad de *T. usillo* (n=20) para estimar el tiempo de formación del nebkha y la tasa de acumulación de arena.



Figura 28. Nebkha en barlovento con estacas graduadas ubicadas en orientación norte, este, oeste y sur

Tabla 8. Ubicación de los nebkhas en barlovento y sotavento de tres megadunas

	Latitud	Longitud
Médano 1		
sotavento		
nebka 1	31° 47' 02.2''	67° 59' 35.6''
nebka 2	31° 47' 01.7''	67° 59' 35.4''
nebka 3	31° 47' 01.3''	67° 59' 35.4''
barlovento		
nebka 1	31° 47' 01.6''	67° 59' 36.9''
nebka 2	31° 47' 01.2''	67° 59' 37''
nebka 3	31° 47' 01.1''	67° 59' 37.2''
Médano 2		
sotavento		
nebka 1	31° 47' 01.1''	67° 59' 40.6''
nebka 2	31° 47' 00.6''	67° 59' 41.1''
nebka 3	31° 47' 00.3''	67° 59' 40.7''
Barlovento		
nebka 1	31° 47' 01''	67° 59' 42.1''
nebka 2	31° 47' 01.4''	67° 59' 42.4''
nebka 3	31° 47' 01.8''	67° 59' 42.3''
Médano 3		
sotavento		
nebka 1	31° 47' 02.2''	67° 59' 44.5''
nebka 2	31° 47' 01.7''	67° 59' 46.6''
nebka 3	31° 47' 01.2''	67° 59' 45.7''

nebka 4	31° 47' 01.1''	67° 59' 45.5''
barlovento		
nebka 1	31° 47' 02.9''	67° 59' 46.2''
nebka 2	31° 47' 02.9''	67° 59' 46.6''
nebka 3	31° 47' 02.6''	67° 59' 46.8''
nebka 4	31° 47' 02.5''	67° 59' 46.7''

b. Dinámica de la arena en crestas e intermédanos

Para analizar el movimiento de arena en las crestas se hicieron 4 transectas con 10 estacas graduadas separadas cada metro en sectores con 5 % de cobertura vegetal (Figura 29 a) y 4 transectas con 10 estacas en una cresta con cobertura vegetal mayor al 50 % (Figura 29b). En dos intermédanos altos se colocaron 2 transectas con 10 estacas graduadas. Se realizaron lecturas quincenales registrando las variaciones de altura (erosión-depositación) desde junio hasta diciembre de 2009.



a)



b)

Figura 29. Se observa una transecta con estacas graduadas en: a) cresta con menos del 5 % de cobertura, b) Cresta con más del 50 % de cobertura

c. Dinámica por erosión hídrica

Durante los trabajos de campo se detectaron cubetas de erosión hídrica. En aquellas cubetas cuya morfología resultaba claramente identificada se analizaron los volúmenes de arena removidos en: 4 cubetas ubicadas en la base de barlovento, 4 en sotavento y 8 en intermédanos altos. El volumen de suelo erosionado se determinó como el producto entre la sección transversal media resultante entre dos medidas consecutivas y la distancia que las separa (Figura 30).

Dendrocronológicamente se determinó la edad de 20 plantas de *T. usillo* presentes en las cubetas, se midió el diámetro de tronco a altura de cuello de planta (2,7 cm-4,5 cm) y se estableció la relación funcional entre el diámetro y la edad. Mediante la ecuación de regresión obtenida se calculó la edad de las plantas de otras cubetas.

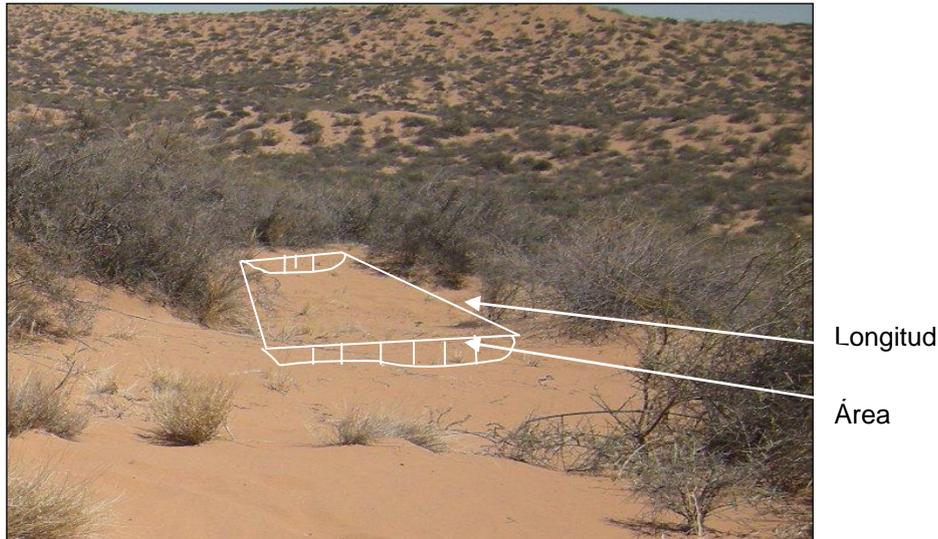


Figura 30. Datos morfométricos registrados en una cubeta de erosión hídrica ubicada en un intermédano alto

3.3 Resultados y Discusión

Dado que el objetivo fue conocer la dinámica de cada geotopo los resultados que se presentan indican magnitudes no valores absolutos.

3.3.1 Rosa de los vientos según el movimiento de arena

Teniendo en cuenta el promedio de las variaciones de altura medidas en el período analizado, y considerando las exposiciones y las orientaciones de los nebkhas, a partir del movimiento de arena se infirió la dirección de los vientos (Figura 31 y 32).

Los resultados obtenidos con este procedimiento indican que la dirección de vientos predominante es sur en barlovento y sur-sureste en sotavento, coincidentes con la rosa de los vientos obtenida a partir de información de la estación Meteorológica Las Chacritas, por lo que metodológicamente resulta de valor para zonas sin datos climáticos.

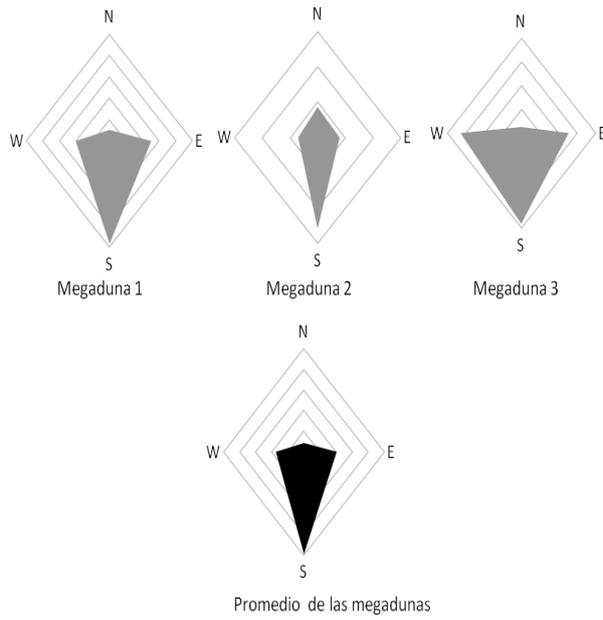


Figura 31. Dirección de vientos inferida a partir del movimiento de arena en barlovento. Los vientos predominantes son de dirección sur

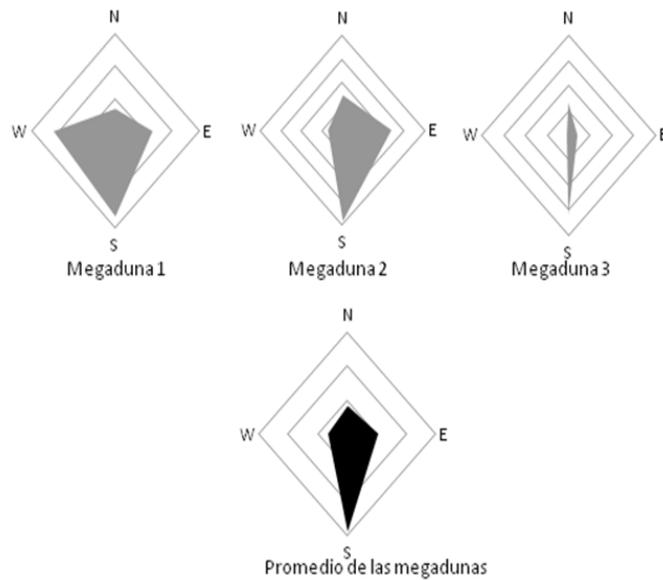


Figura 32. Dirección de vientos inferida a partir del movimiento de arena en sotavento. Los vientos predominantes son de dirección sur-sureste

3.3.2 Dinámica de nebkhas en barlovento y sotavento

Movimiento de arena

La variación registrada de erosión-depositación en nebkhas de las tres megadunas, por exposición y orientación, en valores absolutos (en cm), se muestra en las Figuras 33 y 34.

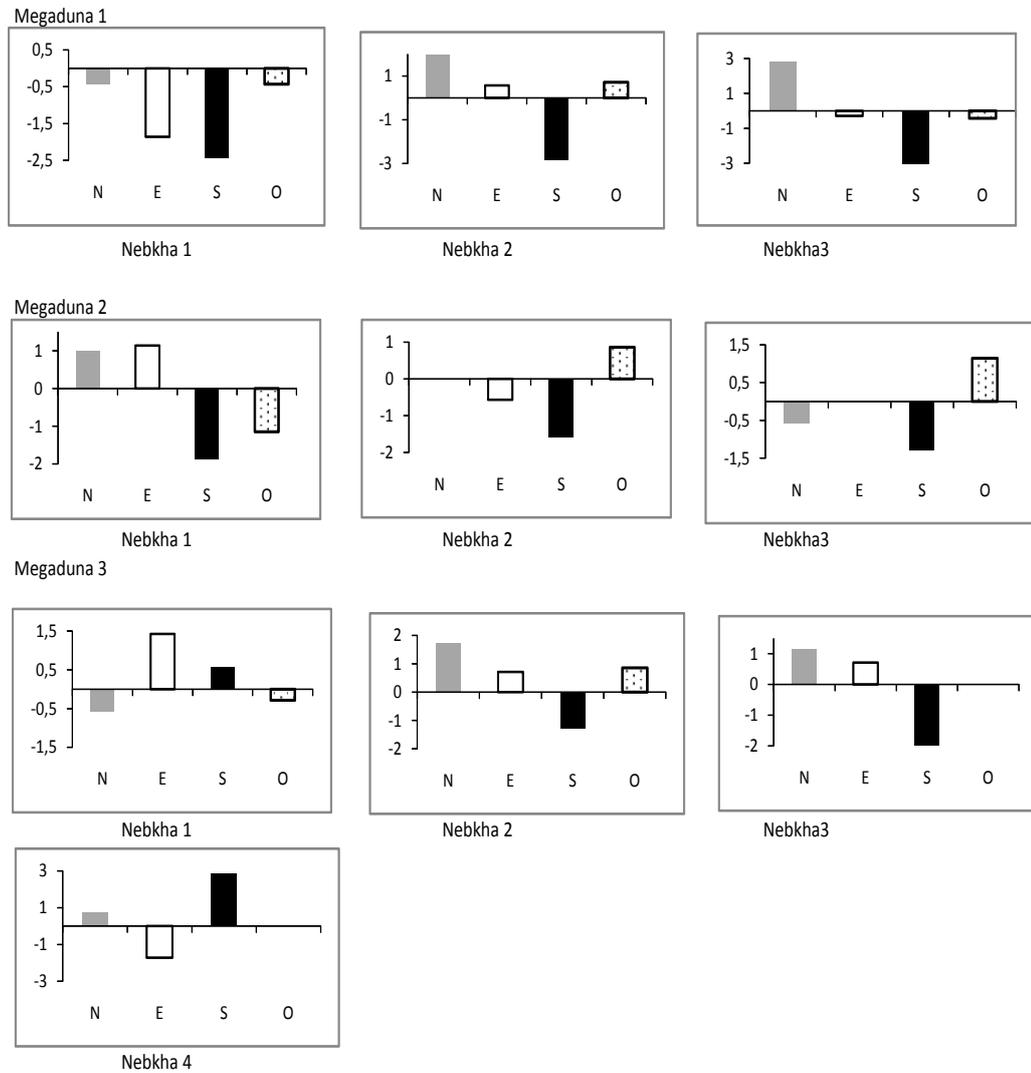


Figura 33. Movimiento de arena (en cm) en los nebkhas de barlovento para distintas orientaciones (N: norte, E: este, S: sur, O: oeste)

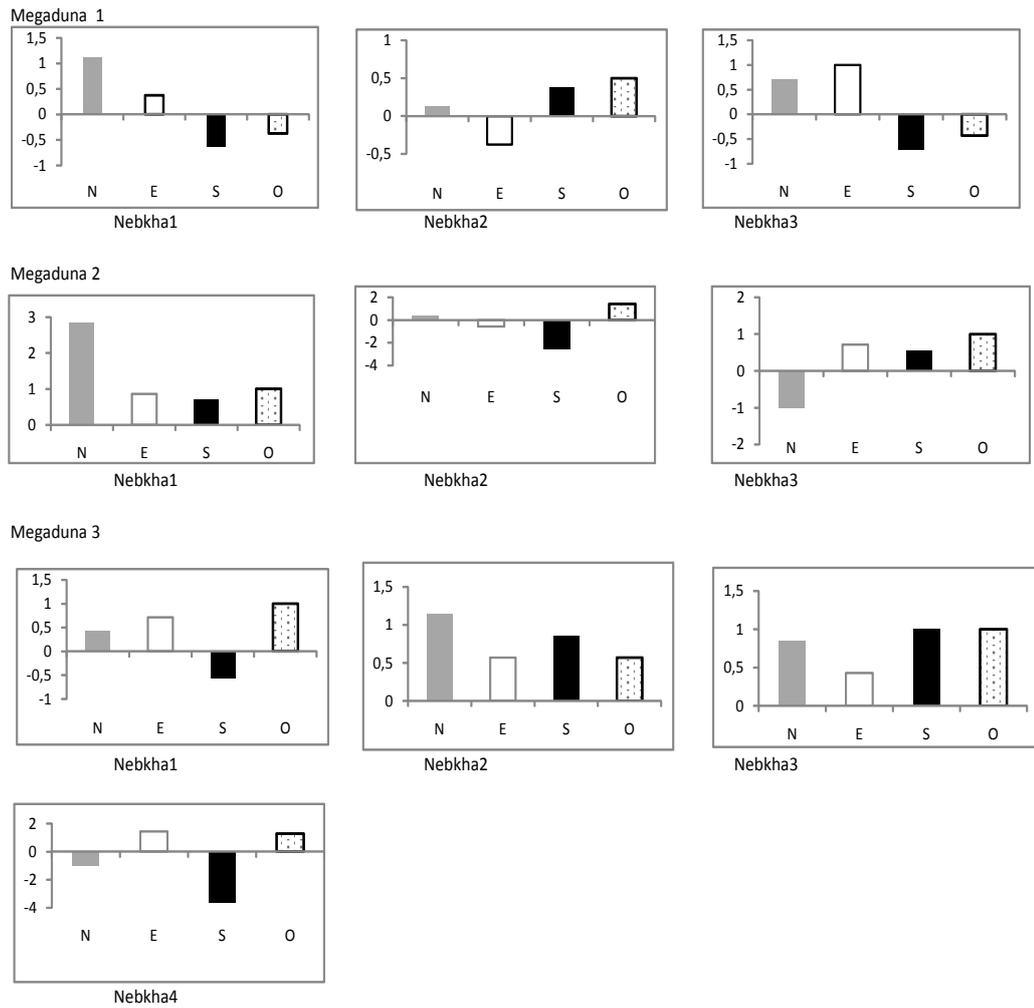


Figura 34. Movimiento de arena (en cm) en los nebkhas de sotavento para distintas orientaciones (N: norte, E: este, S: sur, O: oeste)

La variación media en el movimiento de arena por exposición y orientación se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Movimiento medio de arena en barlovento y sotavento.

Barlovento	Orientación	Movimiento (cm)	Sotavento	Orientación	Movimiento (cm)
	Norte	0,79 cm		Norte	0,59 cm
	Este	-0,02 cm		Este	0,48 cm
	Sur	-1,46 cm		Sur	-0,45 cm
	Oeste	0,13 cm		Oeste	0,67 cm

La ladera de barlovento, coincidente con los trabajos de Bértola *et al.* (2005) y Wiggs *et al.* (1995), y la exposición sur de las megadunas presentan los mayores movimientos de arena por erosión. Los procesos de deflación se presentaron fundamentalmente en la orientación sur y los de depositación en la norte de los nebkhas (Figura 35), coherentes con la dirección predominante de los vientos. En la ladera de barlovento domina la deflación, que alcanza aquí sus mayores valores (1,48 cm). Los nebkhas de la ladera de sotavento evidencian menor intensidad eólica y más distribuida en cada exposición.

Considerando todas las orientaciones la mayor acumulación de arena ocurrió en la ladera de sotavento que alcanzó en total 1,74 cm mientras que en barlovento sólo 0,92cm. La menor depositación en barlovento fue en la orientación oeste de los nebkhas (0,13 cm) y la mayor depositación en la orientación norte (0,79 cm). En sotavento la menor depositación ocurrió en la orientación este de los nebkhas (0,48 cm) y la mayor en la oeste (0,67cm).

Esto indicaría que los nebkhas crecen por retención de las arenas erosionadas desde la orientación sur principalmente. Los nebkhas de sotavento continúan creciendo mientras que los de barlovento, en general, están en la etapa de erosión; resultados similares encontró Ardon *et al.* (2009) para las dunas costeras mediterráneas de Ashdod (Israel).

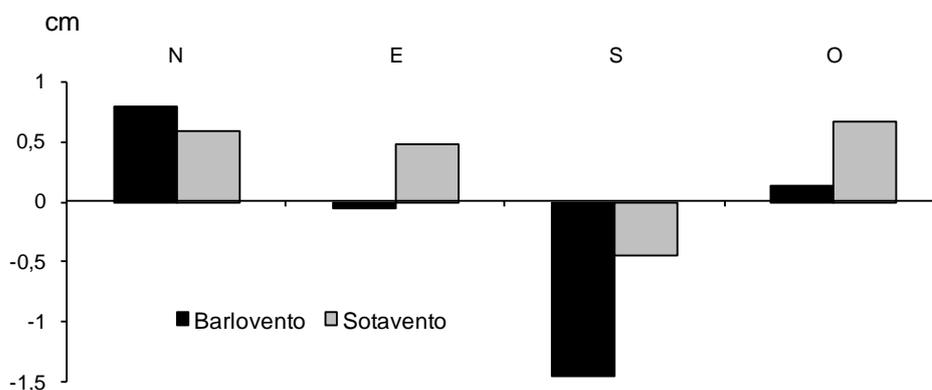


Figura 35. Promedios de depositación y deflación de acuerdo a las orientaciones en nebkhas ubicados en barlovento y sotavento. La orientación sur presenta los mayores valores de deflación para las dos exposiciones, la orientación norte presenta depositación de arena

Considerando los resultados del test de ANOVA, post hoc LSD (Least Significant Difference) test (Sokal y Rohlf, 1995), no se encontraron diferencias

estadísticas entre las exposiciones ($p=0.18$) ni entre las orientaciones ($p=0.38$) para los valores de erosión, depositación y tasas de erosión/depositación (Figuras 36 y 37).

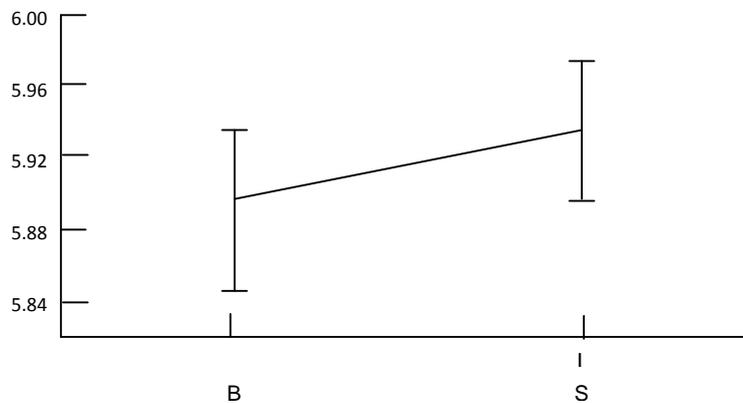


Figura 36. Resultados de ANOVA para barlovento (B) y Sotavento (S) no muestran diferencias significativas en el movimiento de arena

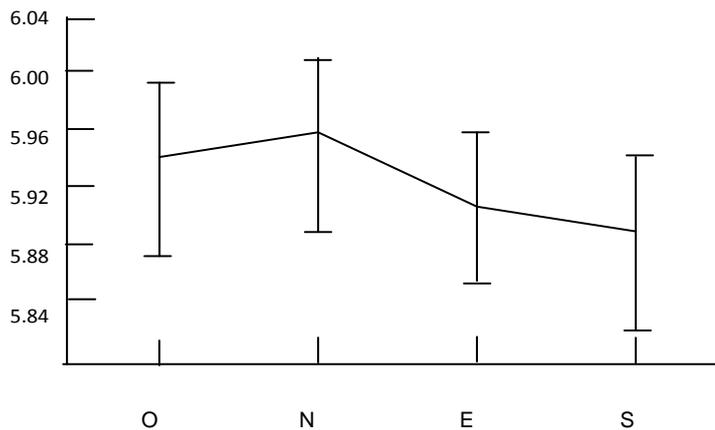


Figura 37. Resultados de ANOVA para distintas orientaciones no muestran diferencias significativas en el movimiento de arena

Relación nebkhas-arbustos

Los nebkhas varían en forma y tamaño (Langford, 2000), sin embargo los estudiados resultaron bastante homogéneos con altura media de 0.62 ± 0.24 cm y de 0.51 ± 0.20 cm y diámetro mayor de 4.71 ± 1.5 m y de 4.25 ± 1.3 m, en barlovento y sotavento respectivamente.

Los arbustos que se encontraron en los nebkhas fueron: *Tricomaria usillo*, y en algunos casos como especies acompañantes de escaso desarrollo *Junellia aspera* (en 3 nebkhas), *Bulnesia retama* (en 2 nebkhas), *Bougainvillea spinosa* (en 2 nebkhas), *Prosopis flexuosa* (en 1 nebkha) y *Ximenia americana* (en 1 nebkha).

Dendrocronológicamente se determinó la edad de *T. usillo* (n=20), se midió el diámetro de tronco a altura de cuello de planta (2,50-4,50 cm). Se estableció la relación funcional diámetro-edad que resultó: edad=42.7138+(0.5783* diám.). ($\alpha=0.05$; $r^2=0.49$). La edad de las plantas varió entre 44-45 años. El valor obtenido es exploratorio para inferir la erosión, ya que en la determinación de la edad de arbustos del árido la falta de agua influye más que la temperatura en el crecimiento de las plantas, por ello en épocas con 2 o 3 años de lluvias se forman anillos distinguibles y en años secos pueden faltar del todo (Hueck, 1951).

Teniendo en cuenta nebkhas de distintos volúmenes y la edad de *T. usillo* a través de los diámetros se calculó la tasa media constante de acumulación para cada geotopo, siendo de 0,22 m³/año y de 0,18 m³/año, para barlovento y sotavento respectivamente.

La tasa constante de crecimiento en altura fue estimada en 0,011 cm/año y 0,012 cm/año, para barlovento y sotavento, resultados similares a los de Ruiz Leal y Roig (1959) para nebkhas con *Ephedra ochreatea* (0,02 cm/año) y con *Larrea divaricata* (0,03 cm/año) en el sur de Mendoza.

Según Wiggs *et al.* (1995) la variación en el movimiento de arena en los taludes se debe principalmente a la cobertura vegetal; en este caso domina en ambas exposiciones un matorral con cobertura del 20-40 % de *Tricomaria usillo* acompañado por *Bulnesia retama*, *Junellia aspera*, *Cercidium praecox*, *Larrea divaricata*, *Prosopidastrum globosum* y *Ephedra boelckei*, lo que explicaría que no haya diferencias significativas en la tasa media de acumulación constante

3.3.3 Movimientos de arena en crestas e intermedanos altos

A diferencia de lo encontrado en otros sistemas de dunas donde en las crestas se registró la mayor tasa de depositación (Ardon *et al.*, 2009), en el sistema de Médanos Grandes en las crestas domina la erosión y no se forman nebkhas ya que sólo se encuentra *Panicum urvilleanum* Kunth (Poaceae), herbácea con coberturas menores al 5%.

Teniendo en cuenta los datos de campo registrados de junio a diciembre de 2009, las crestas con cobertura vegetal menor al 5 % presentaron en promedio un movimiento de arena de: 0,361 m³/m/año y las crestas con cobertura mayor al 50 %: de 0,017 m³/m/año (Figura 38). Diferencias semejantes entre crestas con distintas coberturas vegetales obtuvieron Thomas *et al.* (2005) para las dunas del Kalahari, sugiriendo que la cobertura vegetal es el primer factor limitante para el movimiento de arena.

En los intermédanos altos el movimiento de arena fue de 0,032 m³/m/año. Además de la ubicación topográfica, la mayor proporción de elementos finos proporciona mejores condiciones de humedad lo que permite mas cobertura vegetal disminuyendo el efecto erosivo del viento (Kim *et al.*,2008).

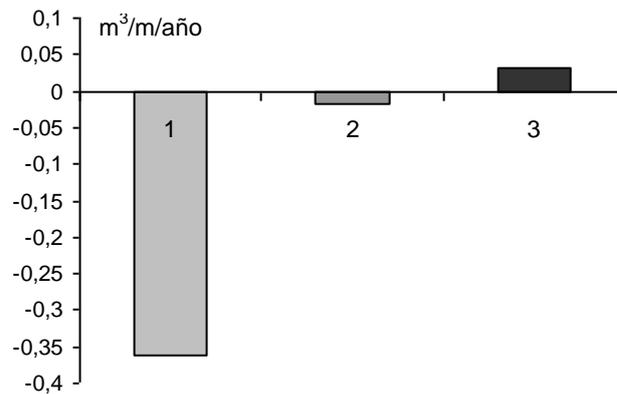


Figura 38. Movimiento de arena en crestas con diferente cobertura vegetal e intermédanos altos. Las crestas con menor cobertura vegetal presentan aproximadamente 20 veces mas movimiento de arena. 1. Crestas con menos del 5% de cobertura vegetal, 2. Crestas con cobertura vegetal >35%, 3. Intermédanos

3.3.4 Vientos - Cobertura vegetal y actividad de la duna

La relación entre velocidad del viento, cobertura vegetal y actividad de la duna ha sido analizada mediante numerosos índices. El más utilizado es el propuesto por Lancaster (1988):

$$M = W / (P/PE)$$

(M: índice de movilidad, W: porcentaje anual de días con velocidad crítica erosiva, P: la precipitación anual y PE: la evapotranspiración potencial).

Los valores mayores a 200 indican dunas muy activas, entre 100-200 activas, entre 50-100 activas en crestas y menores a 50 inactivas. Los médanos y nebkhas de Médanos Grandes alcanzan un valor de M=215 (P= 140.48mm/año, PE= 1778 mm/año, W= 17%), que se incrementa a M=626 en el período primaveral con mayor cantidad de vientos erosivos (P= 31.22mm/año, PE=1778 mm, W= 11), lo que indicaría que el sistema es activo.

El índice mencionado fue desarrollado para el desierto de Kalahari y aplicado en otros ambientes considerando a la precipitación como el factor principal que afecta a cambios en el índice de movilidad de un año a otro. Sin embargo, el factor crítico en

el control de la actividad de la duna varía de una región a otra, siendo el factor limitante en algunas regiones la fuerza de viento (Hugenholtz *et al.*, 2005).

En este sentido Tsoar (2005) considera que las dunas son ambientes cuyas características texturales permiten una rápida infiltración, de manera que las precipitaciones no son decisivas como factores de estabilización y movilización de las dunas, siendo en este caso el viento el único factor limitante de la vegetación.

Considerando que el sistema en estudio no es activo, contrariamente a lo que sugiere el índice de Lancaster (1988), se calculó la deriva potencial de arena (potential sand drift) que es una medida de los vientos netos capaces de movilizar arena considerando: U = velocidad del viento en nudos, U_c = 12 nudos, t : frecuencia de días con vientos con velocidades superiores a la crítica (Tsoar, 2005; Yizhaq *et al.*, 2007):

$$DP = (U^2 (U - U_c)) / 100 * t$$

Según Fryberger (1979) la energía del viento puede clasificarse como: DP menor a 200: baja energía; DP entre 200 y 400: energía intermedia; y DP mayor a 400 de alta energía.

El valor obtenido para los Médanos Grandes es de 42, siendo coherente con el resultado de Tripaldi (2010) para los Médanos de San Rafael–Mendoza que presenta un valor de deriva potencial de 11,2, lo que sugiere un ambiente actual de vientos de muy baja energía (Fryberger, 1979) en toda la región.

Tsoar (2005) considera que en áreas con energía de viento muy débil (DP baja) las dunas estarán cubiertas de vegetación, tal es el caso de los Médanos Grandes. En esos ambientes el sistema sólo se puede activar debido a la sequía prolongada o a la presión antropogénica (Yizhaq *et al.*, 2007).

En la tabla 10 se comparan DP para distintos sistemas eólicos, con diferencias en las precipitaciones, correspondientes a dunas fijas y móviles

Tabla 10. Valores de DP para distintos sistemas eólicos del mundo. Valores bajos de DP corresponden a dunas fijas por la vegetación

	DP	Precipitaciones
Dunas Fijas		
Médanos Grandes. Argentina	42	140 mm
San Rafael. Argentina	11,2	280 mm
Dunas móviles		
Norte de Holanda	1500	2600 mm
Noreste de Brasil	Mayor a 1000	2400 mm

Con los resultados de deriva potencial se elaboró la Rosa de arena (Figura 39), que indica la dirección de los vientos erosivos. Para ello se procesaron los datos de velocidad de vientos junto con un valor estándar de velocidad umbral, velocidad a partir de la cual comienza a movilizarse la arena (Fryberger, 1979).

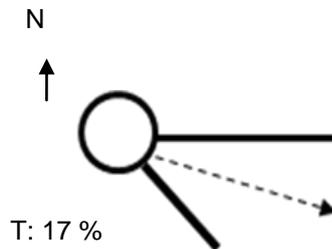


Figura 39. Rosa de arena para los Médanos Grandes (1951-1990). Representa la deriva potencial de arena para las distintas direcciones de viento. Los resultados indican que los vientos erosivos provienen del sur sureste.

Convirtiendo las unidades vectoriales a $m^3/m/año$ con la relación propuesta por Fryberger *et al.* (1984) donde 14 UV son equivalentes a $1 m^3/m/año$ el transporte neto de arena en los Médanos Grandes es de $3 m^3/m/año$. A modo de comparación se puede citar el valor de transporte de arena para dunas costeras muy móviles de Uruguay de $48 m^3/m/año$ (Panario *et al.*, 2005)

3.3.5 Volúmenes de arena removidos por erosión hídrica

Las dunas están sujetas a erosión hídrica como cualquier relieve aunque, en contraste con la erosión eólica, la hídrica conduce a nivelación gradual de topografía de la duna (Jungerius y Decker, 1994).

El proceso de erosión hídrica es evidente y muy importante en los sectores marginales de los Médanos Grandes. Al norte, las bajadas de agua están erosionando el piedemonte sur de la Sierra de Pie de Palo, hacia el oeste el río San Juan los está retrabajando y en la margen oriental el río Bermejo los degrada dejando sus depósitos aluvionales entre las dunas, donde se los reconoce por sus formas meandriformes. En el extremo sur se hallan afectados por la actividad permanente de los derrames de los ríos San Juan y Mendoza. En estos sectores el modelado es principalmente fluvio-eólico.

Dentro del sistema con modelado eólico en las condiciones de sotavento, barlovento y de intermédano alto existen cubetas de erosión hídrica. En 16 de ellas, ubicadas en el sector NO del sistema eólico, se calculó el volumen de suelo erosionado como el producto entre la sección transversal media resultante entre dos medidas consecutivas y la distancia que las separa (Tabla 11).

Tabla 11. Morfometría de las cubetas detectadas en distintos geotopos

	Intermédano			Barlovento			Sotavento		
	Longitud(m)	Área(m ²)	Volumen(m ³)	Longitud(m)	Área(m ²)	Volumen(m ³)	Longitud(m)	Área(m ²)	Volumen(m ³)
Cubeta 1	10,20	0,86	8,78						
Cubeta 2	10,00	0,88	8,76						
Cubeta 3	6,10	0,73	4,43						
Cubeta 4	7,60	1,27	9,66						
Cubeta 5	10,30	0,81	8,29						
Cubeta 6	10,20	1,23	12,59						
Cubeta 7	8,50	1,02	8,65						
Cubeta 8	6,3	1,97	12,41						
Cubeta 9				3,8	0,35	1,34			
Cubeta 10				8,5	1,08	9,19			
Cubeta 11				5	1,89	9,45			
Cubeta 12				2,8	0,93	2,6			
Cubeta 13							7,40	1,14	8,46
Cubeta 14							9	0,96	8,63
Cubeta 15							4,7	0,83	3,89
Cubeta 16							4,6	0,55	2,59
Cubeta Media	8,65	1,10	9,20	5,03	1,06	5,65	6,43	0,87	5,89

Los volúmenes medios de arena (m³/m²) erosionados no muestran diferencias entre barlovento y sotavento, si difiere el intermédano alto que dispone de mayores volúmenes ante un mismo escurrimiento (Figura 40).

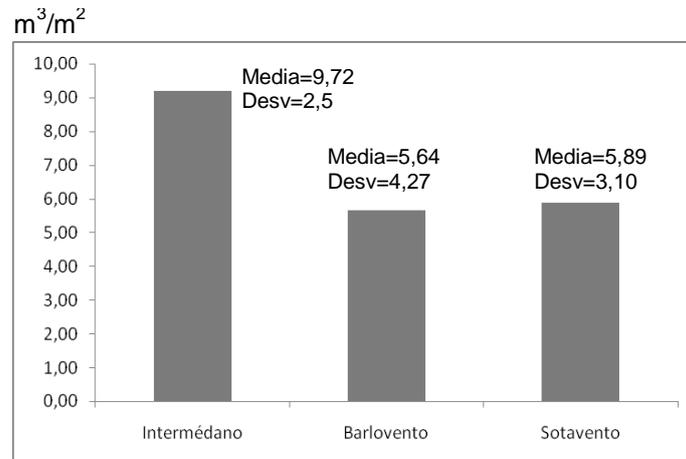


Figura 40. Valores medios de volúmenes de arena (en m^3/m^2) removidos en cubetas de erosión hídrica ubicadas en intermédanos, barlovento y sotavento

Teniendo en cuenta los volúmenes de las cubetas y la edad de *T. usillo* se calculó la tasa media constante de erosión hídrica para cada geotopo siendo de $0,184 \text{ m}^3/\text{año}$ para el intermédano y de $0,113$ y $0,1178 \text{ m}^3/\text{año}$ para barlovento y sotavento, respectivamente.

3.4 Conclusiones

En relación a los procesos de modelado por erosión eólica el sistema sammófilo de Médanos Grandes se encuentra estabilizado por la vegetación siendo inactivo o con actividad sólo en las crestas que presentan diferencias significativas en relación a la cobertura vegetal. Las crestas con cobertura vegetal del 5 % o menos, tuvieron aproximadamente 20 veces mayor deflación que las crestas con más del 50% de cobertura. En estos ambientes se presentan principalmente especies estoloníferas como *Panicum urvilleanum*.

No se evidenciaron diferencias significativas en los movimientos de arena entre barlovento y sotavento. Los vientos predominantes del sur-sureste determinan erosión en barlovento y depositación en sotavento, por lo que los nebkhas sobreimpuestos en las megadunas indicarían estar en una etapa de leve crecimiento en sotavento y de moderado deterioro en barlovento. La magnitud de la erosión eólica en estos geotopos es mayor que la de erosión hídrica. En ambas exposiciones se presenta un matorral con coberturas entre el 20-40 % de *Tricomaria usillo* y *Bulnesia retama*.

Los nebkhas resultaron un indicador confiable del dinamismo de las arenas, aún en sistemas dinámicamente estables como el estudiado donde, además, no se relacionan con procesos de degradación de la vegetación o de suelos.

El proceso de erosión hídrica es importante en los intermedanos altos donde fue aproximadamente 50% mayor respecto a los otros geotopos de las dunas y fundamentalmente en los sectores marginales del sistema eólico por acción directa de los ríos, presentando geoformas fluvio-eólicas con un matorral de *Atriplex lampa*.

CAPÍTULO IV

El agua en el sistema de médanos

4.1 Introducción

En los sistemas de médanos la arena determina poros grandes y uniformes con buena infiltración, por lo que a pesar de la alta temperatura superficial del suelo y la evaporación potencial, prácticamente toda el agua caída infiltra, de manera que usualmente hay mas humedad en las capas más profundas.

En Argentina, Hueck (1950) en los médanos de Cafayate determinó, en época de sequía, diferencias de humedad entre la superficie y 30 cm de profundidad, de hasta el 4,6% (46 litros en 1m³). Este autor consideró al rocío como un elemento importante en la disponibilidad de agua para las plantas basado en observaciones en la madrugada o en las últimas horas de la noche en que registró su infiltración a 1 cm en el suelo. Morello (1956), en médanos de Neuquén, determinó que el sector de mayor humedad se ubica entre los 10 y 40 cm de profundidad.

Walter y Breckle (1983) en dunas continentales desnudas del desierto de Thar encontraron que el agua disponible para las plantas a una profundidad de 1 m es de cerca de 40 mm, y a 2 m de 100 mm, mientras que en dunas con cubierta vegetal sólo existe un tercio de esta cantidad. En general, en las dunas, valores de humedad relativa que en la superficie alcanzan hasta un 5%, a profundidades de 20-30 cm muestran incrementos del 50% (Müller-Hohenstein, 1992).

Habitualmente para conocer la humedad del subsuelo a profundidades mayores se aplican técnicas de geofísica, fundamentalmente sondeos eléctricos verticales. Diversos autores han desarrollado estudios en los que se usan métodos de prospección geoelectrónica para el análisis del comportamiento del suelo en relación a los recursos hídricos (Rhoades, 1979; Barker, 1989; Frohlich y Parke, 1989). Kean *et al.* (1981) relacionaron la conductividad, saturación y temperatura con la resistividad de la arena. Gispert-Folch (2005) analizó la relación del volumen de suelo húmedo en base a la resistividad eléctrica del suelo, considerando el efecto que ejerce la temperatura. En sistemas eólicos se puede citar el trabajo de Romero Castellanos (2007) que determinó la distribución vertical de humedad en las dunas de Guardamar aplicando sondeos mecánicos que le permitieron conocer la profundidad del nivel freático y tomar muestras para estudios hidroquímicos, y métodos geofísicos para conocer la distribución vertical de la humedad junto al radar de penetración en tierra para estudiar la distribución de sistema radicular de dos especies arbóreas.

Con el fin de analizar los factores que condicionan la presencia de agua en los Médanos se elaboró un perfil geológico comprendido entre la Sierra Pie de Palo

al norte y el frente de médanos situados al sur tomando en consideración los antecedentes de investigaciones hidrogeológicas realizadas por el Departamento de Hidráulica del Gobierno de San Juan (Segovia, 1966); el ex Plan de Agua Subterránea (Demartini, 1971) y el Centro Regional de Agua Subterránea (Sánchez, 1983,1985, Pelegrino, 1981). En el perfil (Figura 41) se observan las fallas geológicas que provocan un Alto Estructural sobre el que se ubican los Médanos Grandes yaciendo sobre unidades litoestratigráficas que conforman el extremo austral de la Sierra Pie de Palo. Dicha estructura está conformada por rocas terciarias y sedimentos aluviales del Cuaternario inferior, influyendo esta disposición en las posibilidades de infiltración y acumulo de agua en su interior, ya que el agua que escurre superficialmente posee escasas posibilidades de infiltrarse por la presencia de los estratos terciarios situados en la base de los canales fluviales y en los médanos.

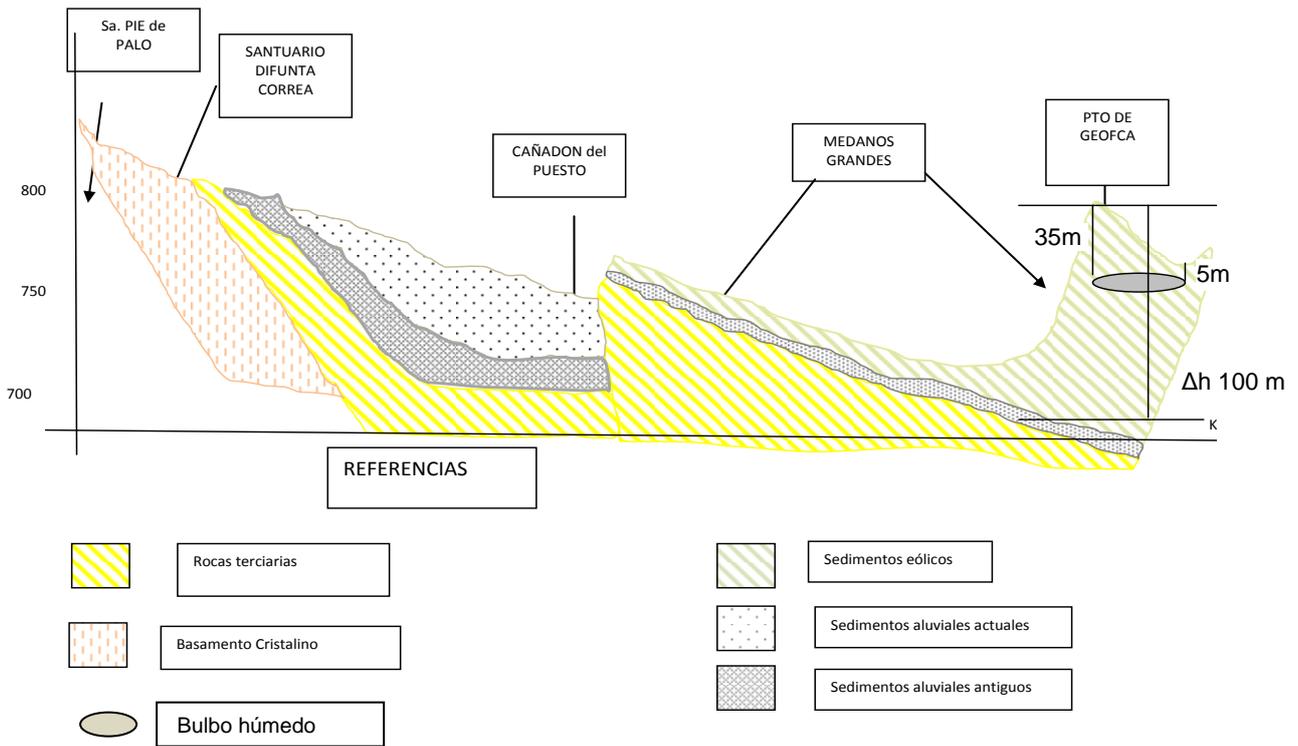


Figura 41. Corte Geológico Norte –Sur desde la bajada pedemontana de Pie de Palo hasta el norte del sistema eólico. Se observa el Alto Estructural donde se asientan los Médanos Grandes

El escurrimiento superficial en el área se relaciona con la Sierra Pie de Palo que controla la disposición de la red fluvial regional. Se destacan como cauces jerarquizados los Ríos San Juan y Bermejo; entre los fluvios de menor jerarquía se encuentran el Cañadón del Puesto, Cañadón de Los Chanchos, Cañadón del Chiquero y Cañadón Rinconada con orientación norte-sur. Otro colector hídrico importante

denominado Cañadón del Huevo Guacho, se orienta en sentido oeste-este, conduciendo los torrentes estivales hacia el oriente en forma paralela al frente de médanos.

El transporte de agua se relaciona con los eventos de lluvias estivales y generalmente son avenidas torrenciales de reducido tiempo e importantes caudales máximos. Este tipo de escurrimiento hídrico superficial erosiona las rocas más vulnerables y arrastra los materiales sueltos producidos por derrumbe de trozos rocosos desde los afloramientos hacia los sectores bajos. A lo largo de su historia evolutiva los torrentes han conformando conos aluviales de distinta magnitud, desarrollados sobre las rocas del Basamento Cristalino y del Terciario (Figura 42), gradando el tamaño de los sedimentos desde bloques hasta arena, limo y arcilla en función de la distancia recorrida y de la pendiente existente.



Figura 42. Perfil del Cañadón del Puesto. Se observa en el sector inferior el afloramiento de rocas terciarias de color rojizo. En la imagen de detalle se observa la relación del afloramiento terciario con sedimentos aluviales antiguos

Los Cañadones desaguan en depresiones, que han elaborado por erosión del frente medanoso. En ellas se generan esporádicas lagunas que a causa de la intensa evaporación tienen una duración temporal muy corta; en estos sectores bajos el depósito de los sedimentos más finos (limo-arcilla transportados en suspensión) por decantación, tapiza el fondo dificultando la infiltración del agua acumulada.

Existe además un conjunto de fallas que explicaría la escasa probabilidad de existencia de niveles freáticos en el sistema eólico (Figura 43).

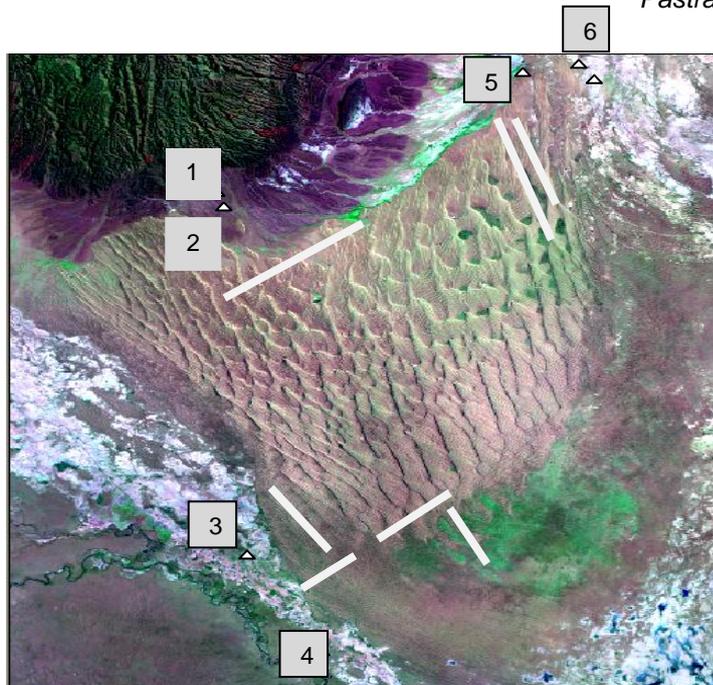


Figura 43. De color blanco se observan las fallas geológicas situadas en el área en estudio. Con numeración, los puntos de agua subterránea muestreados por el Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS) en la bajada pedemontana de Pie de Palo, cercanías de El Encón y Bermejo

Estudios geofísicos (geoeléctrica), pozos cavados y perforaciones en el área situada entre los afloramientos rocosos y los médanos demuestran que no existen acuíferos (Pelegriño, 1981; Sánchez, 1983, 1985). En cuanto a las características del agua subterránea los valores de conductividad registradas en pozos ubicados en la bajada pedemontana de Pie de Palo, planicie del río San Juan y Bermejo destacan su elevada salinidad (Tabla 12).

Tabla 12. Valores de conductividad (micro siemens/cm) de localidades cercanas a los Médanos Grandes

En el piedemonte de Pie de Palo		Conductividad (micro siemens/cm)
1	Vallecito	5330
2	Difunta Correa	2580
Agua subterránea asociada al río San Juan		
3	Al oeste de El Encón. Vialidad Nacional (Pozo N° 289)	6100
4	Al este de Encón	18570

Agua subterránea asociada al Río Bermejo		
5	Pozo N° 141	7500
6	Pozo N° 142	13290
7	pozo Balde N° 147	9270

En este capítulo se estudia el perfil de humedad en megadunas de los Médanos Grandes, analizando además otras formas de disponibilidad de agua en dunas y sectores bajos del sistema. Se plantea la hipótesis de que existe en una posición aproximadamente media del perfil del médano, un bulbo húmedo con agua disponible para las plantas.

4.2 Metodología

a) Se determinó el volumen de saturación de la arena del sistema en estudio mediante diferencias de peso entre arena saturada y seca.

b) Para modelar el perfil de humedad en el sector de médanos de más de 80 m de alto (subunidad geomorfológica 1.1) se aplicó la técnica geofísica de Tomografía eléctrica.

El método de Tomografía Geoeléctrica (TGe) en su modalidad de Resistividad de Alta Resolución en Dos y Tres Dimensiones (TGe_R2D y TGe_R3D) es una técnica de relevamiento recientemente desarrollada para la investigación de áreas con anomalías complejas (resistivas o conductivas), donde el empleo de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), GeoRadar (GPR-Ground Penetrating Radar) u otras técnicas de Resistividad no permiten obtener información de detalle en Dos y Tres dimensiones.

En el mes de octubre de 2008 (mes sin lluvias) se realizó una campaña midiendo 3 perfiles de Tomografía Eléctrica R2D (Tabla 13), uno de 360 m y dos de 180 m de longitud, distribuidos de manera de cubrir: 1) la cresta de una duna de gran altura (80 metros), 2) la zona de intermédanos altos y 3) el perfil de enlace entre los dos anteriores para facilitar la interpretación (Figura 44). De esta manera se obtuvo información y resultados comparables entre cresta e intermédano alto, identificando en el subsuelo los distintos niveles resistivos en conjunto.

Tabla 13. Ubicación de los perfiles para Tomografía eléctrica

	Punto 1		Punto 2	
Perfil 1	2595403.9254	6483756.6411	2595513.0967	6483577.3019
Perfil 2	2595217.7937	6483788.7497	2595216.6832	6483730.0938
Perfil 3	2595335.4838	6483853.9796	2595278.3418	6483616.2946



Figura. 44. Distribución de los perfiles geofísicos. P1: perfil 1 sobre cresta de médano, P2: perfil en intermédano alto, P3: perfil de enlace

La técnica de campo consistió en extender en el terreno un cable multicanal y configurar el dispositivo Wenner-Schlumberger en forma axial, conectando al terreno una serie de electrodos (74 o 37), a los que se les hizo circular corriente eléctrica de pares (Figura 45). Luego de emitir con un par, y a través de un Selector Universal de Dipolo (SUD), se trasladó la emisión a otro par. Por otra parte el mismo conjunto de electrodos de emisión se empleó como de recepción en otro momento del relevamiento a través del SUD, pudiendo realizar un total de 908 lecturas de resistividad aparente en todos los perfiles de Tomografía Eléctrica R2D de Alta Resolución. Por otra parte, se realizó el relevamiento topográfico (Escala 1:1) con cinta métrica de todos los electrodos involucrados en los perfiles de tomografía eléctrica.



Figura 45. Equipo y electrodos de medición geofísica mediante el Dispositivo Wenner-Schlumberger

c) Para relacionar los valores de resistividad obtenidos mediante tomografía eléctrica con porcentajes de humedad en el médano se realizaron ensayos de tomografía en laboratorio. Se trabajó con arena de los Médanos Grandes tipificadas como arenas finas ($X= 2,88 \varnothing$) (Tripaldi, 2002), efectuando mediciones geoelectricas con el Dispositivo Wenner-Schlumberger. Para obtener datos de resistividad a distinta profundidad se varió la distancia entre los electrodos.

Las lecturas iniciales fueron con la arena seca a estufa a 105°C durante 96 horas (Figura 46). Las lecturas de resistividad se realizaron variando el contenido de humedad de la arena mediante la incorporación de volúmenes conocidos de agua destilada ($0,5 \text{ micro siemens/cm}$), hasta llegar a la condición de saturación para el volumen de arena en estudio, con una temperatura media de la arena de 25°C . Se asume que el movimiento de agua en los poros en profundidad no fue homogéneo, a pesar de que el agua en cada agregado se distribuyó lo más homogéneamente posible.

d) Para analizar las formas de disponibilidad de agua en megadunas, dunas y sectores bajos cubiertos con arena se efectuaron perfiles topográficos, a escala de mayor detalle, en intermedanos localizados en: el borde este del sistema eólico con influencia del río Bermejo, el sector central y en el noroeste.



Figura 46. Cuba de arena en estufa y distribución de electrodos para los ensayos de Resistividad–Gradiente de Humedad en laboratorio

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Interpretación de las Imágenes de Resistividad por Tomografía Eléctrica

La correlación entre las características físicas y su atribución litológica/geológica con los valores de resistividad es lo que resulta de la interpretación geofísica de las imágenes de resistividad por tomografía eléctrica. Como resultado se obtiene una Imagen Geoeléctrica o Sección de Resistividad de Alta Resolución con una muy buena aproximación del modelo de subsuelo (resistividades y profundidades verdaderas) (López Hidalgo, 2003).

En general, y en todos los perfiles de resistividad del subsuelo del sistema en estudio, se observa un amplio rango en los valores de resistividad que van desde valores inferiores a los 200 ohm.m hasta máximos de 6300 ohm.m.

Las variaciones de resistividad observadas pueden ser atribuidas a la variación en el contenido de humedad en el interior de las acumulaciones eólicas debido a la infiltración del agua de lluvia, única fuente de recarga de la zona y/o concentración iónica por salinidad dentro de las arenas eólicas. Las experiencias de medición de conductividad eléctrica realizadas en laboratorio (saturando una cantidad de arena con agua destilada durante un tiempo de 48hs) con muestras de arenas del médano estudiado obtenidas a 50 cm de profundidad, presentaron una conductividad eléctrica de 26 microSiemens/cm y pH: 5,7; el bajo valor de conductividad permite relacionar las

resistividades obtenidas en el trabajo de laboratorio y de campo fundamentalmente con el contenido de humedad. Cabe aclarar que no se han replicado en esta oportunidad los cambios de saturación- evaporación que son normales en la naturaleza y que son las que permiten incrementar la cantidad de sales disueltas en el agua.

Para la interpretación de las Imágenes se ha subdividido cualitativamente el perfil geofísico en tres niveles de profundidad: 1, 2 y 3 (Lopez Hidalgo, 2008) (Figura 47)

El primer nivel, denominado 1, corresponde a arenas eólicas sueltas hasta los 10 a 15 m de espesor; abarca todo el rango resistivo pudiendo ser dividido según su grado de humedad.

Corresponde a la parte más superficial de los perfiles observándose como una delgada capa, de un máximo de 4 metros de espesor, que está vinculada principalmente a la zona de escurrimiento superficial del agua de lluvia, donde se produce la mayor variabilidad de concentración de humedad.

El Segundo nivel, denominado 2, corresponde a arenas con un mayor grado de compactación desde los 10 a 25 metros de profundidad conformando un horizonte observable en todas las imágenes, cuya resistividad abarca el rango comprendido entre los 1993 ohm.m y 6300 ohm.m.

El tercer nivel, denominado 3, que se encuentra por debajo de los 20 a 35 metros de profundidad, estaría conformado por arenas muy compactas probablemente con un mayor contenido de humedad con resistividades entre 200 y 1993 ohm.m.

4.3.2 Relación resistividad-humedad del suelo

Considerando el volumen de arena estudiado, el volumen de agua a saturación y el peso específico de la arena se determinó gravimétricamente la cantidad de agua contenida (en gramos) por cada 100 gr de arena, de manera similar a lo realizado por Gispert-Folch (2005), relacionándolo con datos de resistividad obtenidos en el laboratorio (Tabla 14). El comportamiento observado es similar a las conclusiones obtenidas por Shea y Luthin (1961) y Gispert-Folch (2005); a mayor saturación del medio hay menor resistividad al paso eléctrico.

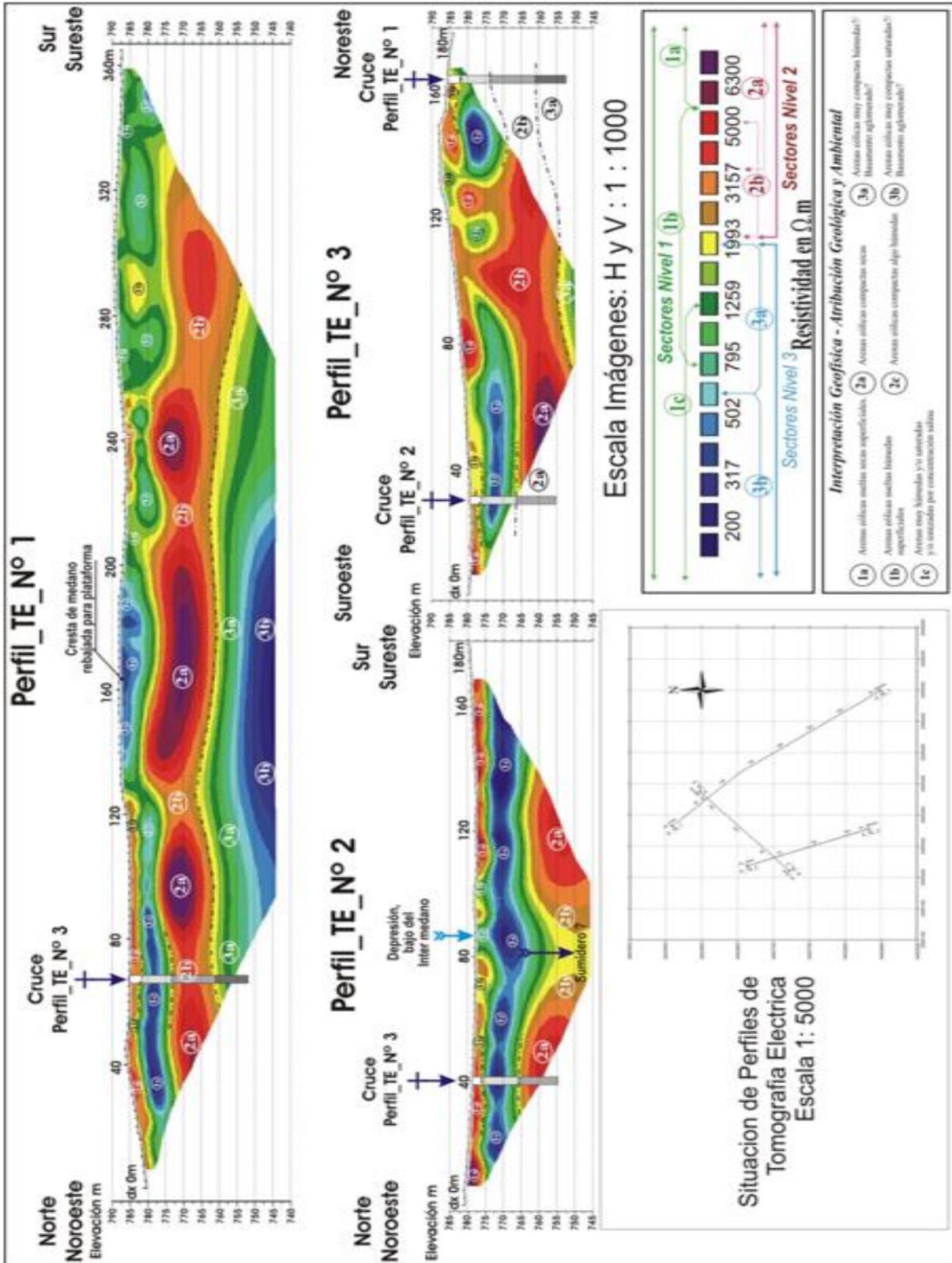


Figura 47. Imagen obtenida por tomografía eléctrica para tres perfiles ubicados en una megaduna de los Médanos Grandes

Tabla 14. Valores de resistividad, porcentaje de saturación y gramos de agua/100 gr de arena, para distintas profundidades con arenas del sistema de Médanos Grandes y agua destilada

Lectura	Litros de agua	% saturación	g H ₂ O/100 g arena	Profundidad:45	Profundidad:	Profundidad:
				cm	37,5 cm	30 cm
				Resistividad	Resistividad	Resistividad
1	0,0	0	0	10851,0	8352,0	820,0
2	3,0	2,67	0,60	1865,0	1538,0	790,0
3	6,0	5,35	1,21	1055,0	785,0	639,0
4	9,0	8,03	1,81	810,0	533,0	338,0
5	12,0	10,71	2,42	640,0	439,0	288,0
6	22,0	19,64	4,44	395,0	267,0	175,0
7	32,0	28,57	6,46	233,0	220,0	102,0
8	42,0	37,5	8,48	171,0	120,0	76,0
9	52,0	46,42	10,50	137,0	92,6	53,9
10	72,0	64,28	14,54	107,0	97,5	48,9
11	92,0	82,14	18,58	88,5	64,0	45,0
12	112,0	100	22,62	81,0	51,8	42,6

En la Figura 48 se muestra la relación entre las tasas de incremento de la resistividad entre 47-37 cm y entre 37-30 cm de profundidad y el porcentaje de agua en el suelo. Para el período en estudio, con contenidos de agua entre 1,21 y 2,41 gramos cada 100 gramos de arena, las tasas de resistividades tienden a ser constantes, lo que reafirma que los rangos de resistividades menores a 1000 ohm.m se relacionan con contenidos de agua mayores a 1,21 g.% g de suelo.

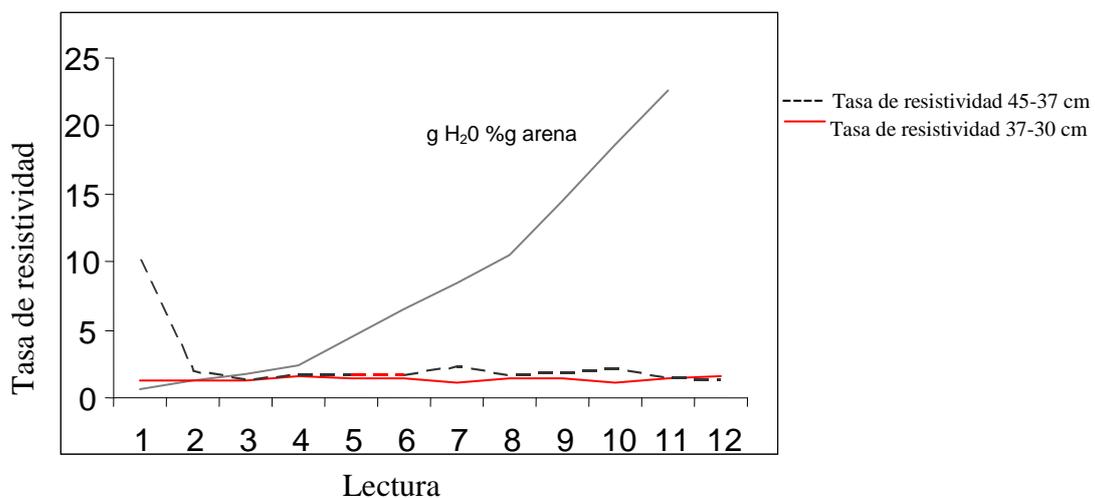


Figura 48 Relación: tasa de resistividad (ohm.m) a tres profundidades y contenido de agua (g%g)

La correlación obtenida entre las resistividades a distintas profundidades y el contenido de agua se observa en la figura 49.

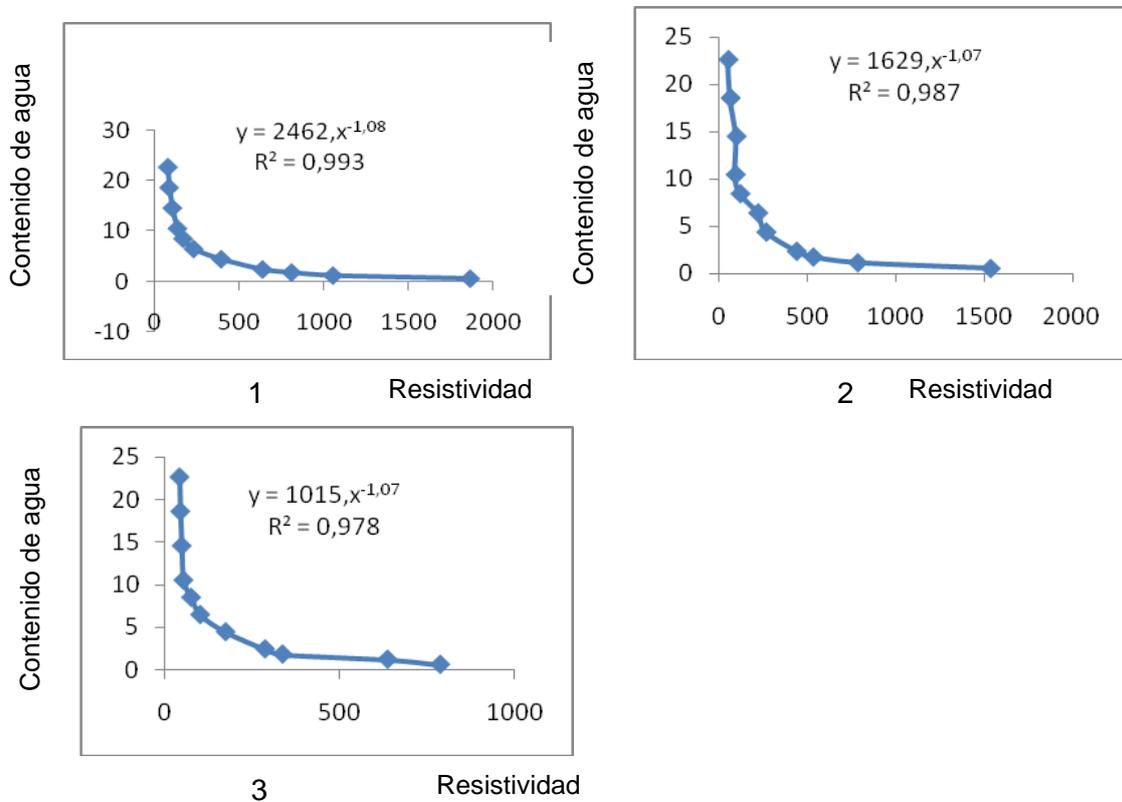


Figura 49- Correlación entre resistividad y contenido de agua en arena de los Médanos Grandes. 1) a 45 cm de profundidad, 2) a 37 cm de profundidad, 3) a 30 cm de profundidad

A partir de los datos geofísicos se realizó el modelado tridimensional empleando el programa RockWorks Versión 15 (Figura 50), con una escala de colores adecuada que representa las resistividades entre 6000-500 Ω .m, que permite concluir:

- En rosado, el área con resistividades entre 500 Ω m y 700 Ω .m, que corresponde a sectores con 2 gr de agua/100 gr de arena.

En distintas tonalidades de azul y verde:

- Valores entre 700 Ω .m -1000 Ω m corresponden a 1,2 gr de agua/100 gr de arena.
- Valores entre 1000 Ω m-1800 Ω .m corresponden a 0,6 gr de agua/100 gr de arena.

Valores mayores de 1800 Ω .m corresponden a 0 gr de agua/100 gr de arena.

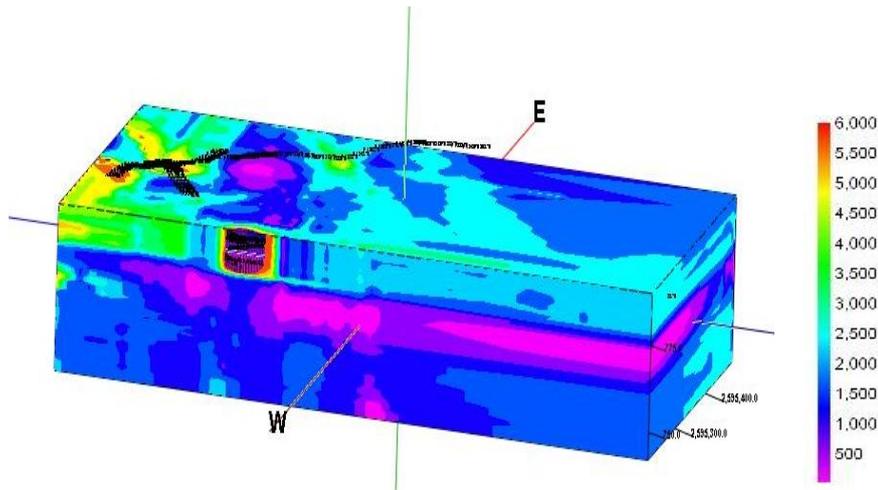


Figura 50. Modelado 3D del subsuelo con datos de resistividad. Se observa de color rosado el área con resistividad entre $500 \Omega.m$ y $700 \Omega.m$, que correspondería al bulbo húmedo con 1,21 hasta 2 gr de agua/100 gr de arena

Para el caso en estudio, por debajo de los 35 metros de profundidad de la megaduna y por debajo de los 5 metros hasta los 13 metros en el intermediano alto, se observa el sector que correspondería al bulbo húmedo con valores de resistividad menores a $700 \Omega.m$ y con contenidos de humedad disponible para las plantas de aproximadamente 2 gr de agua/100 gr de arena (Figura 41). Muller-Hohenstein(1992) refiere que en campos eólicos de Arabia y Norte de África, las capas profundas (sin indicar profundidad) contienen entre 3 y 5 gramos de agua/100 g de arena, que por la composición granular de la arena está disponible para las plantas.

Los resultados obtenidos conducen a aceptar la hipótesis planteada sobre existencia de un bulbo húmedo en el sector del perfil donde las fuerzas de gravedad (infiltración) y de tensión superficial (ascensión) se igualan.

4.3.3 Modelos de disponibilidad de agua en megadunas, dunas y sectores bajos con cubierta de arena

Para identificar las áreas con mayor cobertura vegetal en relación con la topografía se superpuso el Modelo Digital de Elevación vectorial y la imagen obtenida por la aplicación del NDVI. En la imagen resultante se identifican las áreas asociadas a los escurrimientos superficiales del norte y a la freática, principalmente en el este y sur del sistema medanoso. Las diferencias en el sur de las tonalidades de verde se deben a la presencia de fallas geológicas que inciden en la profundidad de la freática (Figura 51).

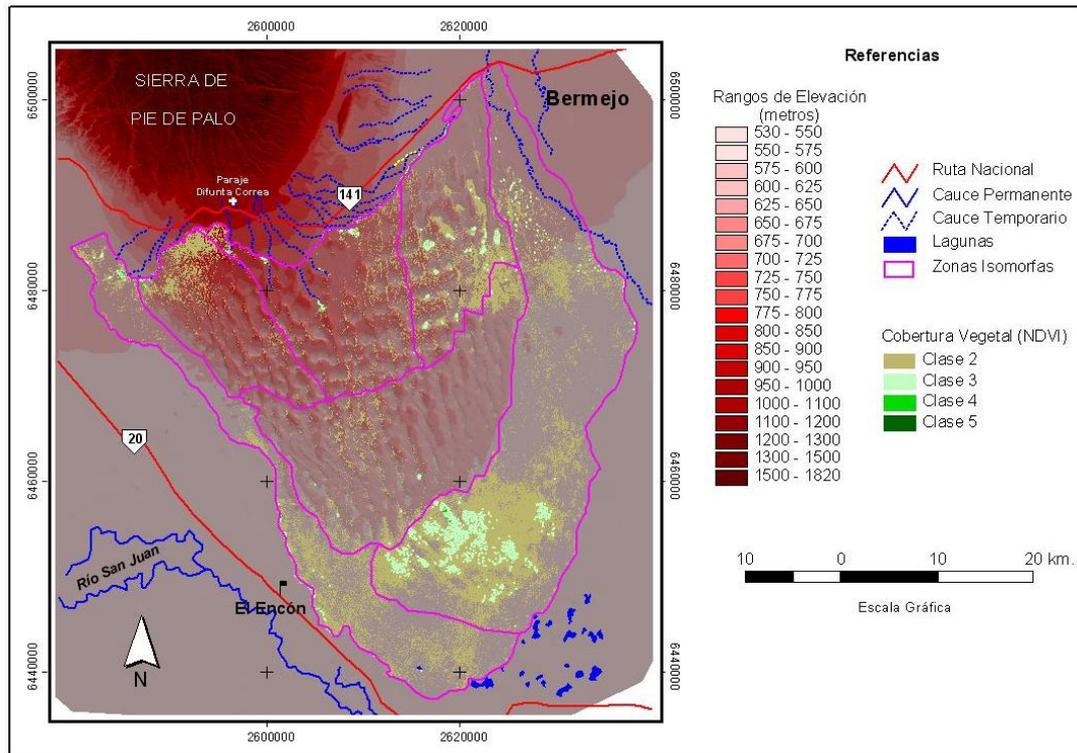


Figura 51. Superposición del Modelo Digital de elevación y la imagen NDVI. En rosado están delimitadas las subunidades geomorfológicas. Se observan los sectores con mayor cobertura vegetal asociados a los escurrimientos superficiales del norte (subunidad 1.1 y 1.2) y la freática (principalmente subunidad 1.3 y 2.2.)

Para analizar las formas de disponibilidad de agua en megadunas, dunas y los sectores bajos cubiertos con arena se efectuaron perfiles topográficos, a escala de mayor detalle, en intermedanos localizados en: el borde este del sistema eólico con influencia del río Bermejo, el sector central con escurrimientos sub superficiales y en el noroeste con mayor altura topográfica.

Del análisis de las principales formas de acceso al agua subsuperficial en los intermedanos, y considerando las unidades geomorfológicas establecidas, se plantean los siguientes modelos de disponibilidad de agua:

a) por la cercanía de la napa freática, que en algunos casos se encuentra entre los 2 a 10 m de la superficie, fundamentalmente hacia el este de los Médanos Grandes (subunidad 1.3), se presentan extensas interdunas ubicadas a 500-590 m, donde es más evidente la acción eólica y fluvial (Figura 52).

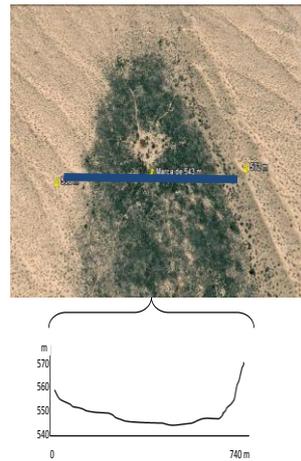


Figura 52. Intermédanos con freática cercana a la superficie ubicados al NE del sistema eólico (subunidad geomorfológica 1.3)

b) por la influencia de la freática por escurrimiento subsuperficial desde la Sierra de Pie de Palo, aproximadamente a 590-690 m, donde el material terciario se halla cubierto por sedimentos aluvionales (aglomerados, gravas) y por arena con un espesor entre los 20-30 m (Figura 53)

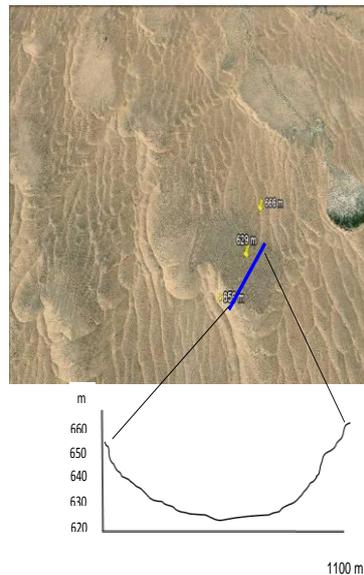


Figura 53. Intermédanos con freática por escurrimiento subsuperficial relacionada con los cañadones del norte del sistema (subunidad geomorfológica 1.2)

c) Por aprovechamiento del bulbo húmedo en intermédanos ubicados a mayor altura, sobre los 690 m. La zona de mayor humedad se encuentra entre los 5 hasta los 13 m de profundidad (Figura 54)

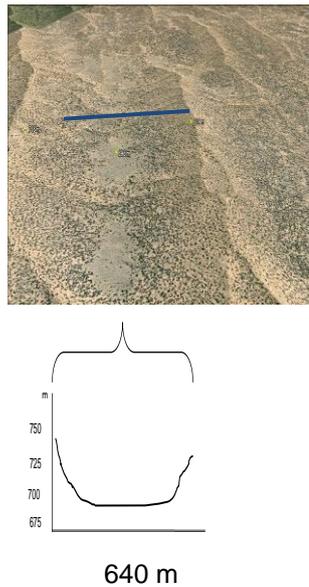


Figura 54. Intermédanos relacionados con el bulbo húmedo ubicados a más de 690 m. Se presentan fundamentalmente en el sector NO del sistema. (subunidad geomorfológica 1.1 y 1.2)

4.4 Conclusiones

La técnica geofísica permitió trazar el perfil de humedad en las megadunas, estableciéndose mediante ensayos de laboratorio la relación entre la resistividad y el contenido de agua para el sistema eólico

Los sectores de mayor interés, desde el punto de vista del perfil de humedad del subsuelo en las megadunas, están ubicados entre los 15 m hasta los 35 m de profundidad y en los intermédanos altos entre los 5 m hasta los 13 m, donde constituyen un bulbo húmedo con valores de 1,21 hasta 2 g de agua/100 g de arena disponible para las plantas.

Los datos geofísicos, junto con los topográficos (modelo digital de terreno) y florísticos, indican una estrecha vinculación entre topografía, escurrimiento de agua y vegetación.

Se han determinado tres modelos de disponibilidad de agua en el sistema Médanos Grandes: a) por influencia de los ríos Bermejo y San Juan, b) por escurrimiento de agua superficial y subsuperficial desde la Sierra de Pie de Palo y c) por el bulbo húmedo.

La disponibilidad de humedad para las plantas según los modelos planteados permiten la existencia de las siguientes comunidades vegetales: en los sectores bajos, interdunas, entre los 500–590 m, con dunas de hasta 15-20 m de altura y agua freática salina aportada por el río Bermejo, la comunidad de *Atriplex lampa*; en intermédanos

bajos, entre 590–690 m, con material aluvional proveniente de la Sierra Pie de Palo, moderadamente salino, con agua freática entre 15-20 m de profundidad por escurrimiento subsuperficial desde el pie de la sierra, la comunidad de *Prosopis flexuosa* con árboles de hasta 8 m de alto, y en las megadunas, en intermedanos altos, sobre los 690 m, usufructuando el bulbo húmedo ubicado entre 5 y 35 m de profundidad, la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retana* con árboles aislados de *P. flexuosa* de hasta 4-5 m de alto cuyas raíces indudablemente alcanzan esa agua capilar.

CAPÍTULO V

Las comunidades vegetales

5.1 Introducción

Existen numerosos trabajos sobre vegetación de dunas litorales en el mundo que han permitido bosquejar gradientes ecológicos mar-tierra describiendo perfiles (Doing, 1985), Van der Maarel (1993), Pfandehauer (1993), Cordazo y Seeliger (1993), Müller-Hohenstein (1996), Costa *et al.*, (1996), Lortie y Cushman (2007). Para Argentina se pueden citar entre otros los trabajos de Cabrera (1936, 1940) en Miramar, Celsi y Monserrat en Pehuén-có-Monte Hermoso (2008), Coronel Dorrego (2009), Fontana (2004) en Monte Hermoso, Holtz en Mar Chiquita (1995). En dunas costeras Cabrera (1941) encontró diferencias de asociaciones vegetales en la zona oriental de la Provincia de Buenos Aires comparadas con las de la zona austral. Monserrat (2010) recientemente estudió la vegetación de las dunas de la costa bonaerense y la relacionó con la geomorfología.

En las dunas continentales, los estudios se centran en los cambios en la vegetación relacionados fundamentalmente con las diferencias del relieve y el efecto del viento. En Arabia y África se destacan los trabajos de Knapp (1973) y Müller-Hohenstein (1976, 1987, 1988). En Argentina, los aportes de Hueck (1950) en Salta; Roig *et al.* (1980) en las tierras altas de San Carlos, Mendoza; Eskuche (1992) desde la región costera atlántica hasta el Espinal; Dalmaso *et al.* (1988) en Lavalle-Mendoza, Gandullo, *et al.* (1998) en Senillosa y Plottier, Neuquén y Martínez Carretero (2004) en el sur de Mendoza y norte de Neuquén y su relación con la de toda la vegetación sammófila de Argentina.

Los ambientes samófilos son propicios para el estudio del dinamismo vegetal, ya que diferentes estadios de fijación de los médanos corresponden a diferentes asociaciones interesantes para el enfoque fitosociológico y para la dinámica vegetacional.

La vegetación de pioneras de las dunas está formada por especies herbáceas y arbustivas, tolerantes a las condiciones drásticas que imperan en las zonas más móviles del sistema. El papel de fijadores y acumuladores de arena lo ocupan, en primer lugar, los pastos. En la región Saharo-Arábica es muy importante *Aristida pungens*, que ocupa el mismo rol dominante de *Ammophila arenaria* en la zona litoral europea (Müller-Hohenstein, 1992). En Sudamérica los géneros más importantes son *Panicum spp.* y *Sporobolus spp.* (Cabrera, 1945).

Con el tiempo y el inicio de la estabilización de la arena de la duna, la vegetación de pioneras es reemplazada por un matorral bajo. Este fenómeno es muy claro en las intermédanos, donde hay mayor humedad y protección de los vientos (Moreno Casasola, 2004). En valles dunarios de los emiratos árabes pueden

encontrarse bosques abiertos de *Prosopis cinerea* que usan la relativa buena disponibilidad de agua en lugares donde la precipitación anual no llega a 50 mm (Müller-Hohenstein, 1992). En Argentina, Hueck (1950) y Roig *et al.* (1992), describen en los médanos bosques de *Prosopis flexuosa*.

Florísticamente la vegetación sammófila en el esquema sintaxonómico se ubica en la clase *Panico urvilleani-Sporoboletea rigentis* Esk., 92, al *Sporobolo rigentis-Panicion urvilleani* Esk. de pajonales en médanos de La Pampa occidental, y en este orden Martínez Carretero, 2003 indica la asociación *Hyalietum argenteae latisquamae* ass. nov. como comunidad de médanos activos, azotada por el viento. Numerosos elementos de esta comunidad alcanzan las dunas costeras como *S. rigens*, *P. urvilleanum*, *H. argentea* var. *latisquama*, acompañados por *Calycera crassifolia* y *Thelesperma megapotamicum* de los médanos continentales (Cabrera, 1936, 1940; Eskuche, 1973, 1992).

Los Médanos Grandes fitogeográficamente se encuadran en la provincia del Monte (Morello, 1958; Cabrera, 1976), constituyendo un área de alto interés fitogeográfico y ecológico por su magnitud espacial, continentalidad y aislamiento norte, este y oeste.

El objetivo de este capítulo es analizar florística y sinecológicamente el sistema sammófilo. La hipótesis es que la vegetación debido a su continentalidad y relativo aislamiento geográfico, presenta comunidades y series dinámicas propias respondiendo su distribución principalmente a factores locales.

5.2 Metodología

Para el estudio de la vegetación se realizaron 100 censos florísticos (Braun-Blanquet, 1979) a lo largo del año, y durante 3 períodos vegetativos, teniendo en cuenta las unidades fisiográficas homogéneas a la escala de trabajo (Figura 55). Para su ubicación se tuvo en cuenta la accesibilidad y las unidades geomorfológicas delimitadas.

La cobertura total y específica se midió en cada comunidad mediante el método de análisis linear de Point Quadrat (Daget y Poissonet, 1969) modificado por Passera *et al.* (1983).

Para la nomenclatura taxonómica se siguió el Catálogo de las plantas vasculares de la República Argentina (Zuloaga y Morrone, 1996, 1999; Zuloaga *et al.* 1994).

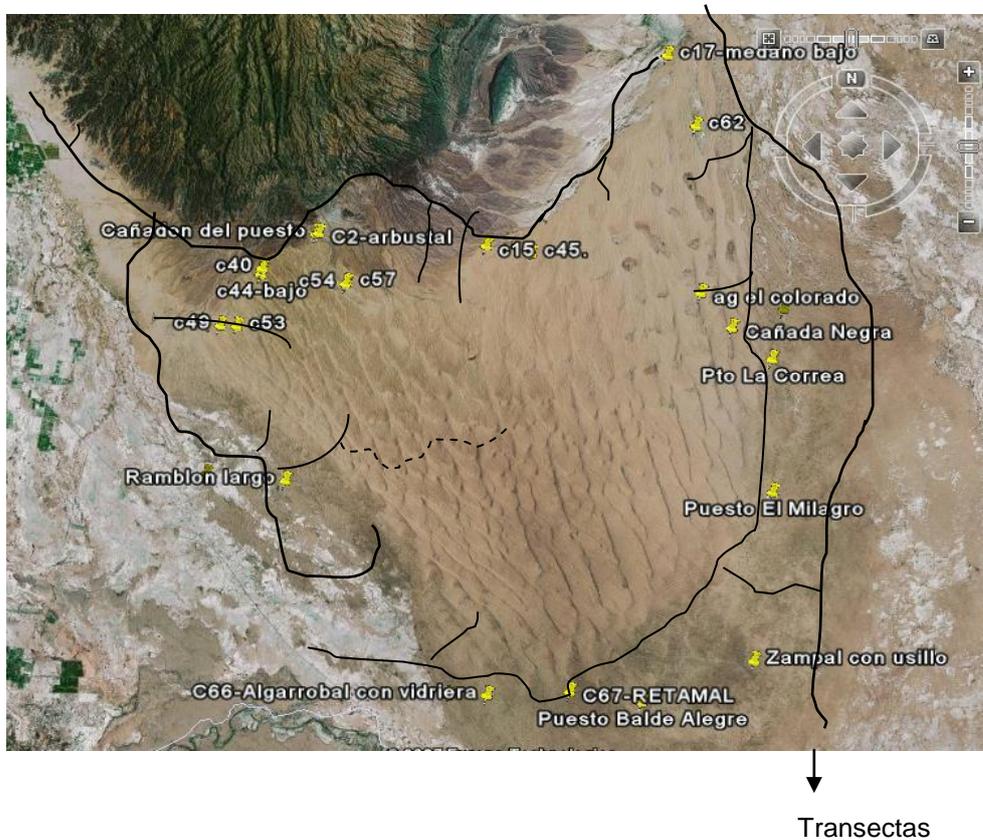


Figura 55. Ubicación de algunas áreas en que se realizaron censos florísticos y transectas de relevamientos

Se determinó la forma biológica de cada especie siguiendo la metodología y nomenclatura de Raunkjaer (1905). Se elaboró el espectro biológico compensado por comunidad, considerando la cobertura y la presencia de cada tipo biológico (Ambrosetti y Méndez, 1983; Martínez Carretero, 1985). La diversidad por comunidad se calculó según el Índice de Shannon-Weaver (ShW) ($H' = -\sum p_i \log p_i$) utilizando el programa Infostat Professional Versión 2010 P. Para el cálculo se tuvo en cuenta la riqueza florística de cada comunidad y los datos de cobertura por Point Quadrat. La información florística se analizó numéricamente mediante Análisis de Agrupamientos, (se empleó la Distancia Euclidiana para calcular la matriz de distancias y el algoritmo de Unión Completa para obtener los grupos), y mediante Análisis de Componentes Principales. En ambos casos se empleó como valor de cada variable el valor medio de cobertura de la escala florística (5=87,5, IV=64,5, III=37,5, II=17,5, I=5, +=2,5), se emplearon los paquetes estadísticos STATISTICA 6.0 y PCORD.

5.3 Resultados y Discusión

Considerando al sistema de médanos que se extiende por el noreste de Mendoza (Lavalle) y sureste de San Juan (Médanos Grandes) se ha registrado un total de 151 especies; sin embargo, en Médanos Grandes están presentes sólo 99 de las especies.

Durante la estación lluviosa los Médanos Grandes se cubren de terófitos. En el invierno y primavera la cobertura del estrato herbáceo no supera el 10 %. Durante el período estival el suelo está cubierto hasta un 90 % por *Portulaca grandiflora*, *Portulaca oleracea*, *Sclerophyllax arnotii*, *Verbesina encelioides* y *Solanum euacanthum* principalmente, conformando una densa cubierta vegetal.

5.3.1 Las comunidades vegetales

El análisis de la tabla sintética (Tabla 15) permite determinar la presencia de cuatro comunidades vegetales, de: *Panicum urvilleanum*, *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*, *Prosopis flexuosa* y de *Atriplex lampa*.

Tabla 15. Cuadro comparativo sintético de la vegetación de los Médanos Grandes

Comunidad 1: Pastizal de *Panicum urvilleanum*, Comunidad 2: de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*, Comunidad 3: de *Prosopis flexuosa*, Comunidad 4: de *Atriplex lampa*

Comunidad	1	2	3	4	Tipo
Grupo de relevamientos	33	14	16	13	Biol.
Ubicación geomorfológica	Cresta	Intermedanos altos - Laderas	Intermed. Medios y bajos	Bajos salinos	
Tipo de acceso al agua	Pptac. Capilar aislada	Capilar aislada	Freática Escurrim. Superfic.	Freática	
Profundidad agua -m-	0-0,03	5-35	20-30	2-5	
Suelo (Cond. elect.) mS/cm	146	259	584	30200	
<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth	V	IV	II	I	H
<i>Junellia aspera</i> (Gillies ex Hook.) Moldencke	II	II	I	I	N
<i>Xanthium spinosum</i> L.	II	+			T
<i>Hyalis argentea</i> D. Don ex Hook. & Arn. var. <i>latisquama</i> Cabrera	I				N
<i>Glandularia microphylla</i> (Kunth) Cabrera	I				T
<i>Solanum euacanthum</i> Phil.	+	+		I	T
<i>Tribulus terrestris</i> L.	+				H
<i>Neobouteloua lophostachya</i> (Griseb.) Gould	+				H
<i>Pappophorum caespitosum</i> R.E Fr.	+				H
<i>Commelina erecta</i> L. var. <i>angustifolia</i> (Michx.) Fernald	+				H
<i>Baccharis darwinii</i> Hook. & Arn.	+				N
<i>Nicotiana</i> spp.	+				H
<i>Gamochoaeta</i> spp.	+				
<i>Pyrrhocactus sanjuanensis</i> (Speg.) Backeb.	+				S
<i>Bulnesia retama</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Griseb.	II	V	III	III	N
<i>Tricomaria usillo</i> Hook. & Arn.	II	IV	III	III	N
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms spp. <i>glaucum</i> (Cav.) Burkart & Carter	I	II	I	+	N
<i>Prosopis flexuosa</i> D.C. var. <i>depressa</i> Roig		+	+		N
<i>Opuntia sulphurea</i> Gillies ex Salm-Dyck var. <i>sulphurea</i>		I	+		S
<i>Aristida adscensionis</i> L.	+	I	+		T
<i>Lepidium</i> spp.		+			
<i>Mentzelia albescens</i> (Gillies ex Arn.) Griseb.		+			H
<i>Euphorbia marayensis</i> Subils		+			T
<i>Euphorbia ruiz-lealii</i> Subils		+			T
<i>Prosopidastrum dehiscens</i> Palacios & Hoc		+			N
<i>Prosopis flexuosa</i> DC.		II	V	II	MF
<i>Capparis atamisquea</i> Kuntze		+	III	+	N
<i>Setaria</i> spp.	+	I	II	+	H
<i>Setaria mendocina</i> Phil.	+	II	II		H
<i>Trichloris pluriflora</i> Fourn.		I	II	+	H
<i>Amaranthus standleyanus</i> Parodi ex Covas			II		T
<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi			I		H

<i>Portulaca oleracea</i> L.				II	+	T
<i>Zuccagnia punctata</i> Cav.				I		N
<i>Bouteloua</i> spp.				I		S
<i>Tephrocactus articulatus</i> (Pfeiff.) Backeb. var. <i>articulatus</i>		+		I		N
<i>Larrea cuneifolia</i> Cav.		+		I		N
<i>Prosopanche americana</i> (R. Br.) Baill.				I		H
<i>Geoffraea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart				I	+	N
<i>Talinum polygaloides</i> Gillies ex Arn.				I	+	N
<i>Prosopis chilensis</i> (Molina) Stuntz emend. Burkart				I		MF
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. & Hook. f. ex Gray				I	+	T
<i>Atriplex argentina</i> Speg.				+		N
<i>Atriplex lampa</i> (Moq.) D. Dietr.		IV		IV	V	N
<i>Grahamia bracteata</i> Hook. & Arn.				I	II	N
<i>Cortesia cuneifolia</i> Cav.					II	N
<i>Cressa nudicaulis</i> Griseb.					II	H
<i>Atriplex lithophila</i> Soriano				+	II	N
<i>Plectrocarpa tetracantha</i> Gillies ex Hook. & Arn.				+	II	N
<i>Sclerophylax arnottii</i> Miers				I	II	T
<i>Portulaca echinosperma</i> Hauman					II	T
<i>Gomphrena tomentosa</i> (Griseb.) R.E. Fr. var. <i>tomentosa</i>		+		I	II	H
<i>Ibicella parodii</i> Abbiatti		+	I	+	II	T
<i>Prosopis strombulifera</i> (Lam.) Benth. var. <i>strombulifera</i>					I	N
<i>Cyclolepis genistoides</i> D. Don					I	N
<i>Atriplex deserticola</i> Phil.					I	N
<i>Heterostachys ritteriana</i> (Moq.) Ung.-Sternb.					I	N
<i>Lecanophora heterophylla</i> (Cav.) Krapov.		+	+		I	H
<i>Gomphrena boliviana</i> Moq. var. <i>boliviana</i>			+	+	I	T
<i>Pappophorum phillippianum</i> Parodi			+	+	I	H
<i>Eragrostis</i> spp.					I	
<i>Cottea pappophoroides</i> Kunth.					+	H
<i>Chloris</i> spp.					+	
<i>Ximena americana</i> L.			I	I		N
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.			+	I		T
<i>Cucurbitella asperata</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Walp.		+	I	I		H
<i>Euphorbia catamarcensis</i> (Croizat) Subils			+	+		T
<i>Heliotropium mendocinum</i> Phil.		+	+	I		H
<i>Aristida inversa</i> Hack.		I	III	I		H
<i>Cereus aethiops</i> Haw.		+	II	I		S
<i>Plantago tomentosa</i> Lam.		+	+	+		H
<i>Senecio goldsackii</i> Phil.		II	II	+	+	N
<i>Prosopidastrum globosum</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart		II	II			N
<i>Ephedra boelckeii</i> Roig		II	II		+	N
<i>Lycium chilense</i> Miers ex Bertero var. <i>minutifolium</i> (Miers) Barkley		+	I		I	N
<i>Heliotropium curassavicum</i> L. var. <i>fruticosum</i> Johnst.		+				T
<i>Suaeda divaricata</i> Moq.			+	III	IV	N

<i>Lycium tenuispinosum</i> Miers		I	I	I	N
<i>Sporobolus phleoides</i> Hack.			I	I	H
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	IV	IV	I	III	N
<i>Aristida mendocina</i> Phil.	II	III	II	II	H
<i>Bougainvillea spinosa</i> (Cav.) Heimerl	I	IV	III	I	N
<i>Senna aphylla</i> (Cav.) Irwin & Barneby	I	II	I	I	N
<i>Heliotropium catamarcense</i> Johnst.	+	+	+	+	T
<i>Calycera calcitrapa</i> Griseb.		+	+	+	T
<i>Rhodophiala mendocina</i> (Phil.) Ravenna		+	+	+	H
<i>Euphorbia collina</i> Phil.		+	+	+	H
<i>Euphorbia ovalifolia</i> (Klotzsch & Garcke) Boiss.		I	I	+	T
<i>Gomphrena aff mendocina</i> Phil.	+			+	T
<i>Monttea aphylla</i> (Miers) Benth. & Hook.			+		N
<i>Polygala</i> spp.				+	
<i>Lycium gilliesianum</i> Miers			+		N
<i>Prosopis argentina</i> Burkart			+	+	N
<i>Bouteloua barbata</i> Lag.		+			T

El análisis de agrupamiento (Figura 56) muestra la similitud florística, medida como distancia, entre el pastizal de *P. urvilleanum* y el matorral de *T. usillo*, así como la baja similitud con los bosques de valles intermedanos bajos de *P. flexuosa*, en suelos con material fino.

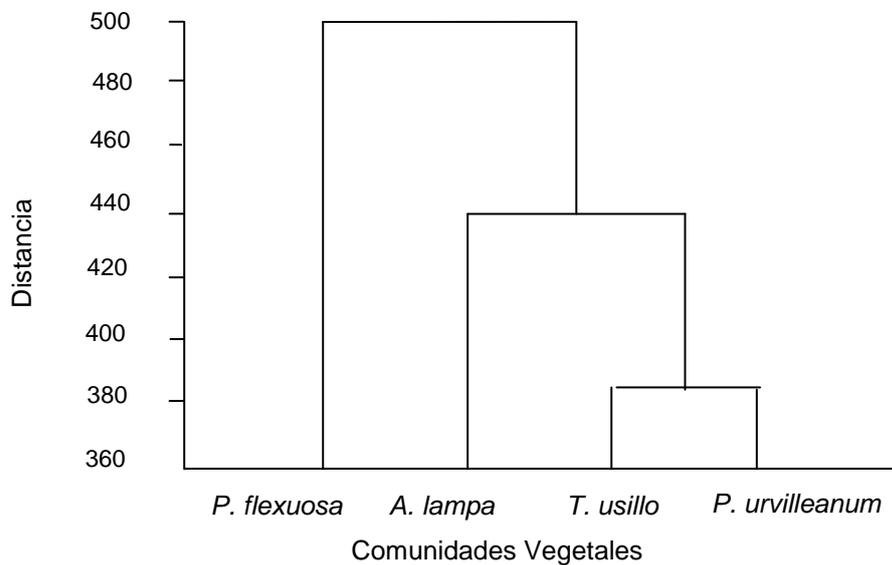


Figura 56. Grupos de relevamientos por especies

En el análisis de componentes principales la varianza explicada alcanza al 58% en los dos primeros ejes y al 88 % en los tres primeros ejes (Figura 57), evidenciando las relaciones florísticas entre las diferentes comunidades vegetales.

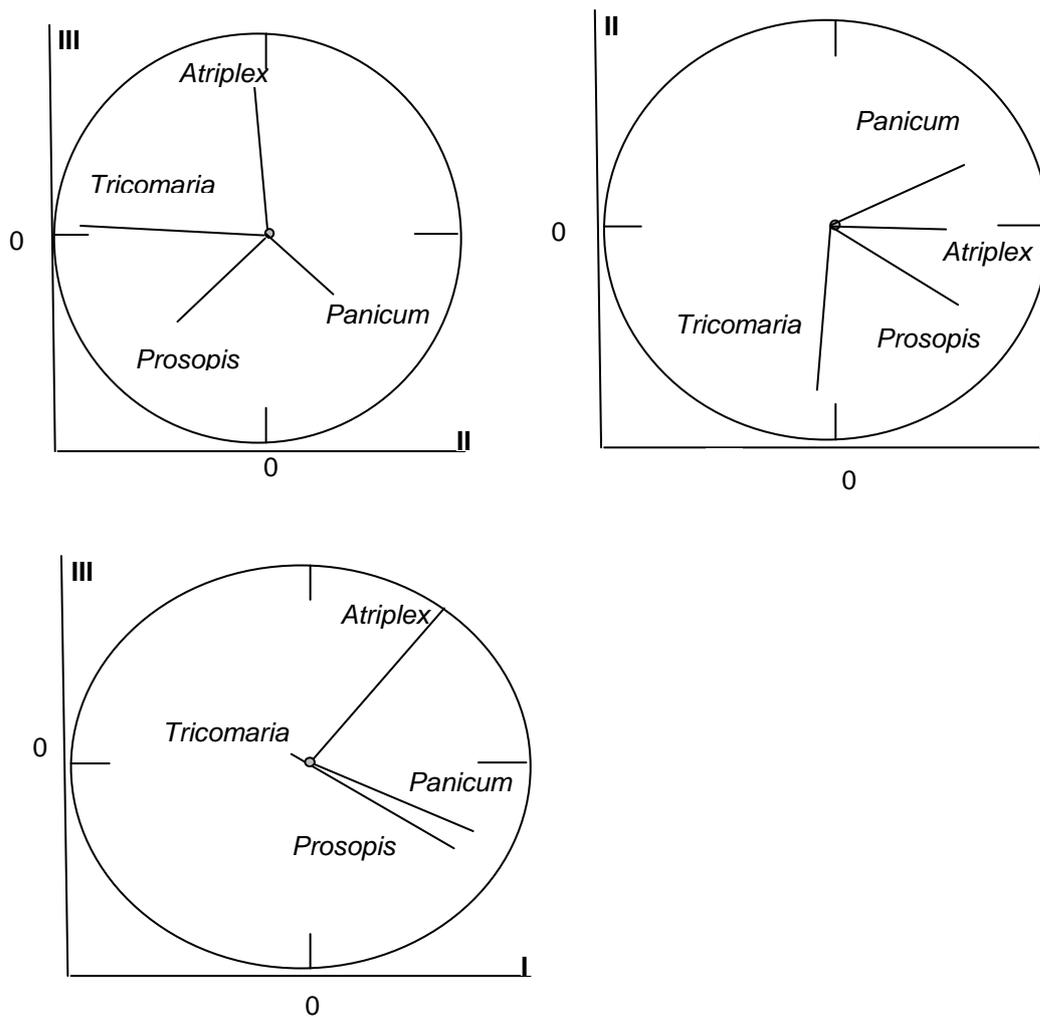


Figura 57. Análisis de componentes principales considerando los ejes I-II, I-III y II-III

La mayor similitud entre las comunidades de médanos se denota entre los ejes II y III, la comunidad de *Panicum urvilleanum* en que presenta mayor actividad eólica se separa en los ejes I y II, mientras que los ejes III y I marcan la baja similitud de los matorrales de suelos salinos con el resto de las comunidades sammófilas.

El ordenamiento de las especies en el PCA (Figura 58) refleja el agrupamiento indicado en la tabla florística. En el extremo derecho del Eje I las especies de la Comunidad de *P. urvilleanum* en crestas de dunas y hacia el extremo izquierdo las de *A. lampa* en suelos salinos.

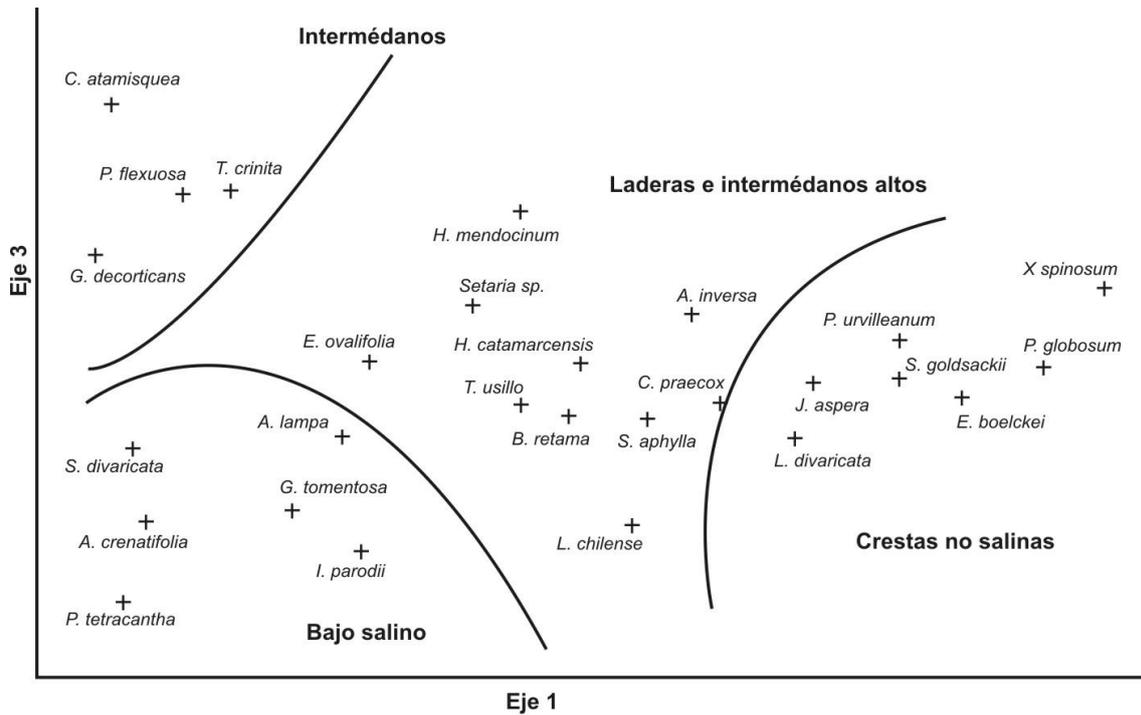


Figura 58. Distribución de las especies en el espacio dimensional de los ejes I y III y la indicación de su relación con las geoformas

A partir de los valores registrados y calculados de: conductividad eléctrica y pH del suelo (0-40 cm), erosión eólica registrada (m^3/m) y contenido de agua en el suelo (a 40 cm) se elaboró una matriz de datos ambientales por comunidad y se la analizó mediante PCA, la matriz de correlación se calculó mediante el algoritmo de promedios ponderados. En la Figura 59 se muestra espacialmente la relación obtenida entre las variables ambientales y los Ejes de ordenación. El Eje I se relaciona a la erosión eólica, el Eje III a la conductividad eléctrica y el Eje II al contenido de agua en el suelo.

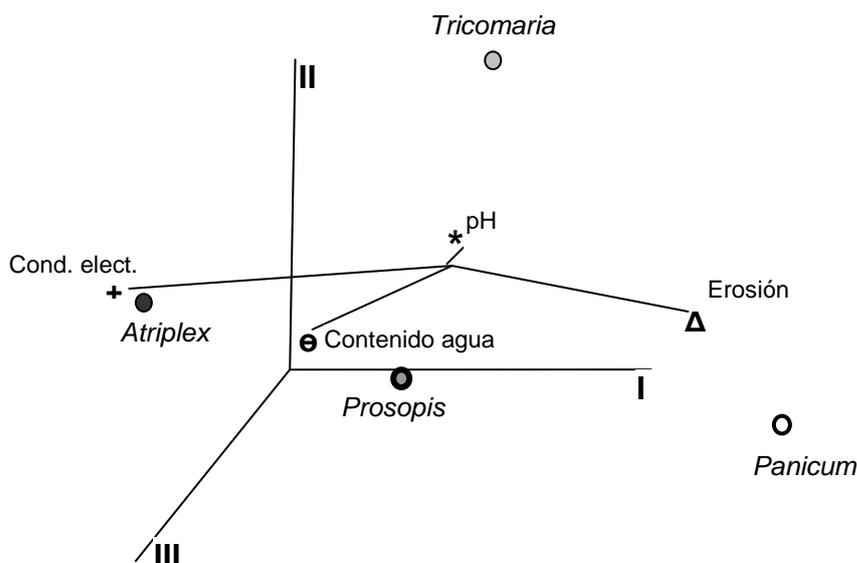


Figura 59. Relación espacial entre variables ambientales y ejes de ordenación

1. Comunidad de *Panicum urvilleanum* Tabla 16

Esta comunidad se extiende por las crestas activas con cobertura vegetal total menor al 5 %. *Panicum urvilleanum* domina casi exclusivamente con una cobertura específica relativa mayor al 60 % codominando *Aristida mendocina*. Fisonómicamente se presenta como un pastizal bajo y muy abierto (Figura 60a).



Figura 60: Imágenes de la comunidad de *Panicum urvilleanum* a) en crestas activas con escasa cobertura vegetal, b) en crestas fijas por la vegetación.

En crestas con menor altura respecto de los valles intermédanos altos (Figura 60b), aumenta la cubierta vegetal, entre el 30-35 % y *P. urvilleanum* está acompañado por *Aristida mendocina*, *Junellia aspera*, *Tricomaria usillo*, *Solanum euacanthum*, *Hyalis argentea* var. *latisquama*, *Larrea divaricata*, *Ephedra boelckei* y *Bulnesia retama*, esta última de la comunidad de contacto de *T. usillo*-*B. retama* (Figura 61).

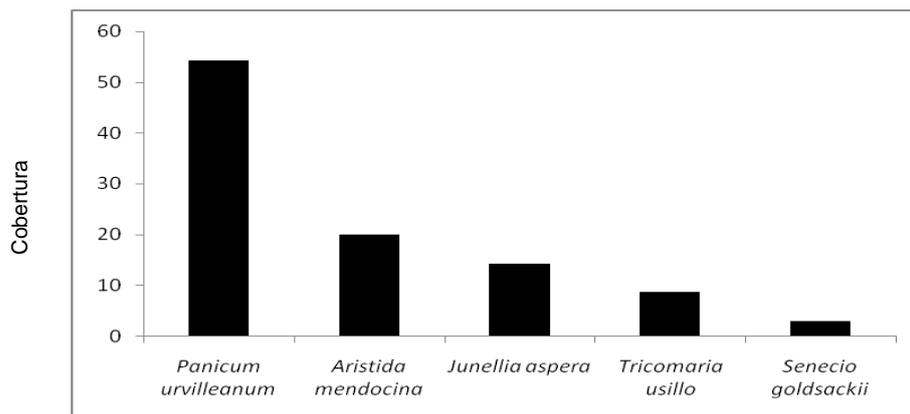


Figura 61. Cobertura específica de la comunidad de *Panicum urvilleanum*

Esta comunidad, de extensa distribución en ambientes sammófilos de América del Sur (Cabrera, 1945), se presenta fundamentalmente en las crestas de las dunas donde el efecto del viento es intenso con procesos de enterramiento y erosión severos, la

luminosidad es excesiva y existe fuerte recalentamiento de la superficie del suelo. Estos ambientes presentan la menor riqueza específica del sistema de médanos.

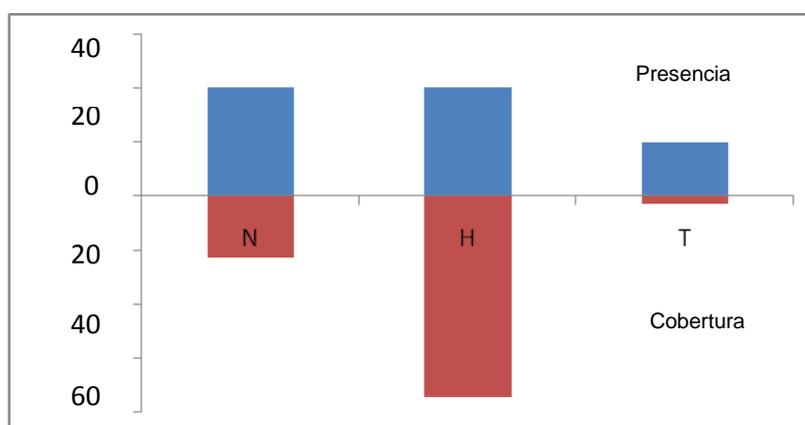
Tabla 16. Composición específica de la comunidad de *Panicum urvilleanum*

Relevamientos	62	63	13	20	82	35	61	6	69	38	31	85	74	51	40	72	78	73	46	50	45	22	60	47	54	55	49	58	59	1	3	8	21	Constancia		
	C. activa	C. faja	C. semifaja	C. semifaja	C. faja	C. semifaja																														
Cobertura	5	10	10	10	20	10	30	75	80	60	75	70	30	30	35	30	30	30	25	30	30	30	30	30	30	30	35	30	30	20	50	30	30	20		
<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth	+	+	1	1.1	1	1	+	4	3	3	3.2	3	+	2	2.2	1.1	1	1	2	2	2	2	1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1	1.2	1.1	1	1	1	V	
<i>Junella aspera</i> (Gillies ex Hook.) Moldenke	.	+	+	+	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II	
<i>Xanthium spinosum</i> L.	II	
<i>Hyalis argentea</i> D. Don ex Hook. & Am. var. <i>latsquama</i> Cabrera	.	.	+	2.2	2.1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I	
<i>Glandularia microphylla</i> (Kunth) Cabrera	I	
<i>Solanum euacanthum</i> Phil.	+	
<i>Tribulus terrestris</i> L.	+	
<i>Neobouteloua lophostachya</i> (Griseb.) Gould	+	
<i>Pappophorum caespitosum</i> R.E Fr.	+	
<i>Commelina erecta</i> L. var. <i>angustifolia</i> (Michx.) Fernald	+	
<i>Baccharis darwinii</i> Hook. & Am.	+	
<i>Nicotiana</i> spp.	+	
<i>Gamochaeta</i> spp.	+	
<i>Pyrrhocactus sanjuanensis</i> (Speg.) Backeb.	+	
De la comunidad de <i>Tricomaria usillo</i>	
<i>Bulnesia retama</i> (Gillies ex Hook. & Am.) Griseb.	1	II
<i>Tricomaria usillo</i> Hook. & Am.	1	1.1	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1.1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	II	
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms spp. <i>glaucum</i> (Cav.) Burkart & Carter	I
<i>Aristida adscensionis</i> L.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
De la comunidad de <i>Prosopis flexuosa</i>	
<i>Setaria</i> spp.	+
<i>Setaria mendocina</i> Phil.	+
<i>Portulaca oleracea</i> L.	+
De la comunidad de <i>Atriplex lampa</i>	
<i>Gomphrena tomentosa</i> (Griseb.) R.E. Fr. var. <i>Tomentosa</i>	+
<i>Ibicella parodii</i> Abbati	+
<i>Lecanophora heterophylla</i> (Cav.) Krapov.	+
Especies acompañantes	
<i>Cucurbitella asperata</i> (Gillies ex Hook. & Am.) Walp.	+
<i>Heliotropium mendocinum</i> Phil.	+
<i>Aristida inversa</i> Hack.	I
<i>Cereus aethiops</i> Haw.	+
<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	+
<i>Senecio goldsackii</i> Phil.	II
<i>Prosopidastrum globosum</i> (Gillies ex Hook. & Am.) Burkart	II
<i>Ephedra boelskii</i> Roig	II
<i>Lycium chilense</i> Miers ex Bertero var. <i>minutifolium</i> (Miers) Barkley	+
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	IV
<i>Aristida mendocina</i> Phil.	II
<i>Bougainvillea spinosa</i> (Cav.) Heimerl	I
<i>Senna apophylla</i> (Cav.) Irwin & Barneby	I
<i>Heliotropium calamaricense</i> Johnst.	+
<i>Gomphrena aff mendocina</i> Phil.	+

Considerando las formas biológicas, las hemicriptófitas presentan los mayores valores de cobertura (Tabla 17 y Figura 62).

Tabla 17. Espectro biológico y de coberturas de la comunidad de *Panicum urvilleanum*

Tipo biológico	N	H	T
Espectro biológico (presencia en %)	40	40	20
Espectro biológico cobertura (%)	22,85	74,28	2,87



N: nanofanerófito, H: hemicriptófito, T: terófito

Figura 62. Espectro biológico compensado de la comunidad de *Panicum urvilleanum*

Predominan las formas herbáceas sobre las leñosas, fundamentalmente gramíneas que fijan arena. En los médanos vivos o crestas activas azotadas por el viento domina frecuentemente una comunidad de *Panicum urvilleanum* y *Hyalis argentea* (Frenguelli y Cabrera, 1939; Martínez Carretero, 2004) que en el norte de Mendoza se denomina blanquillal por el color del follaje. En ambiente árido hasta subárido, como Neuquén y Buenos Aires, se enriquece con *Sporobolus rigens*, *Poa lanuginosa*, etc., mientras que hacia el centro de San Luis acompañan *Piptochaetium napostaense*, *Bothriochloa springfieldii*, *Digitaria californica*, entre otras (Eskuche, 1992), en lomas medanosas altas de San Luis *Aristida mendocina* es codominante (Cano y Movia, 1967). El análisis de sedimentos en esta comunidad a 30 cm de profundidad indicó valores de conductividad eléctrica de 146 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y ph de 6,8.

2. Comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* Tabla 18Tabla 18. Composición específica de la comunidad de *Tricomaria usillo- Bulnesia retama*

Relevamientos	36	39	7	9	17	43	41	80	85	64	57	52	56	83	
	Intermédano	Expos. Oeste	Intermédano	Expos. SE	intermédano	Exp oeste abajo	Exp. Este (50)	talud al NE	Intermédano	Expos. Norte	Bajada	Bejo	Exposición este	Intermédano	Constancia
Cobertura	40	70	75	25	5-20	40	40	40	40	40	65	70	40	25	
<i>Bulnesia retama</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Griseb.	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	V
<i>Tricomaria usillo</i> Hook. & Arn.	+	3	3	2	.	3	.	+	1	+	.	2	+	.	IV
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms spp. <i>glaucum</i>	.	.	.	+	.	1	+	1	.	.	.	.	1	.	II
<i>Prosopis flexuosa</i> D.C. var. <i>depressa</i> Roig	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+
<i>Opuntia sulphurea</i> Gillies ex Salm-Dyck var. <i>sulphurea</i>	.	.	.	.	.	+3	.	.	.	.	+	.	.	.	I
<i>Aristida adscensionis</i> L.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I
<i>Lepidium</i> spp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+
<i>Mentzelia albescens</i> (Gillies ex Arn.) Griseb.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+
<i>Euphorbia marayensis</i> Subils	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Euphorbia ruiz-lealii</i> Subils	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Prosopidastrum dehiscescens</i> Palacios & Hoc	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
De la comunidad de <i>Panicum urvilleanum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth	1	2	1	1	2	1	1	+	.	.	.	.	+	1	IV
<i>Junellia aspera</i> (Gillies ex Hook.) Moldencke	.	.	.	+	.	+	1	1	.	.	.	+	.	.	II
<i>Xanthium spinosum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+
<i>Solanum euacanthum</i> Phil.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
De la comunidad de <i>Prosopis flexuosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Prosopis flexuosa</i> DC.	.	+	.	.	.	+	.	.	1	.	.	+	.	.	II
<i>Capparis atamisquea</i> Kuntze	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Setaria</i> spp.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1	.	I
<i>Setaria mendocina</i> Phil.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	II
<i>Trichloris pluriflora</i> Fourn.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I
<i>Tephrocactus articulatus</i> (Pfeiff.) Backeb. var. <i>articulatus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+
<i>Larrea cuneifolia</i> Cav.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	+
De la comunidad de <i>Atriplex lampa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Atriplex lampa</i> (Moq.) D. Dietr.	1	+	.	+	.	1	.	.	+	+	+	1	+	.	IV
<i>Gomphrena tomentosa</i> (Griseb.) R.E. Fr. var. <i>tomentosa</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Ibicella parodii</i> Abbiatti	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Lecanophora heterophylla</i> (Cav.) Krapov.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+
<i>Gomphrena boliviana</i> Moq. var. <i>boliviana</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Pappophorum phillippianum</i> Parodi	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
Especies acompañantes	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ximena americana</i> L.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	I
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Cucurbitella asperata</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Walp.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Euphorbia catamarcensis</i> (Croizat) Subils	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Heliotropium mendocinum</i> Phil.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Aristida inversa</i> Hack.	.	.	3.2	+	+	.	.	+	.	.	.	.	+	+	III
<i>Cereus aethiops</i> Haw.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	II
<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Senecio goldsackii</i> Phil.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	+	.	.	II
<i>Prosopidastrum globosum</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart	.	.	2	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	+	II
<i>Ephedra boelckeii</i> Roig	.	+	1	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	II
<i>Lycium chilense</i> Miers ex Bertero var. <i>minutifolium</i> (Miers) Ba	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I
<i>Suaeda divaricata</i> Moq.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Lycium tenuispinosum</i> Miers	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	I
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	2	+	+	.	+	+	.	+	.	+	.	.	1	+	IV
<i>Aristida mendocina</i> Phil.	+	+	.	.	.	+	+	.	.	+	.	+	.	.	III
<i>Bougainvillea spinosa</i> (Cav.) Heimerl	1	.	1	+	.	.	+	1	.	+	.	+	+	+	IV
<i>Senna aphylla</i> (Cav.) Irwin & Barneby	1	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	II
<i>Heliotropium catamarcense</i> Johnst.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+
<i>Calycera calcitrapa</i> Griseb.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+
<i>Rhodophiala mendocina</i> (Phil.) Ravenna	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+
<i>Euphorbia collina</i> Phil.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Euphorbia ovalifolia</i> (Klotzsch & Garcke) Boiss.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Bouteloua barbata</i> Lag.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+

En los intermedanos altos, entre los 690 y 750 m, se presenta el matorral de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* con coberturas que varían entre el 40 y el 70 %, acompañados por *Cercidium praecox* subsp. *glaucum*, *Larrea divaricata*, *Bougainvillea spinosa*, *Junellia aspera* y *Panicum urvilleanum*, entre otras (Figura 63). Este matorral (vadosófito) usufructua el agua retenida en los capilares por tensión superficial (agua capilar aislada), entre 5 y 13 m de profundidad.



Figura 63. Imagen de la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*

Esta comunidad también se presenta en las exposiciones de barlovento y sotavento de las megadunas aunque con menores valores de cobertura (20-40%), acompañado por *Junellia aspera*, *Cercidium praecox*, *Larrea divaricata* y *Ephedra boelckei* (Figura 64).

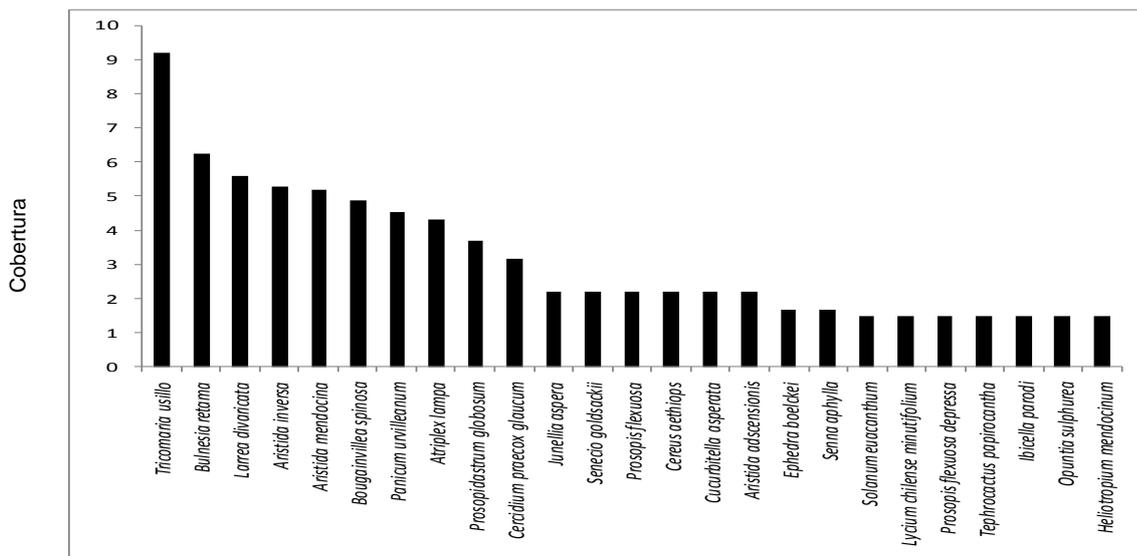
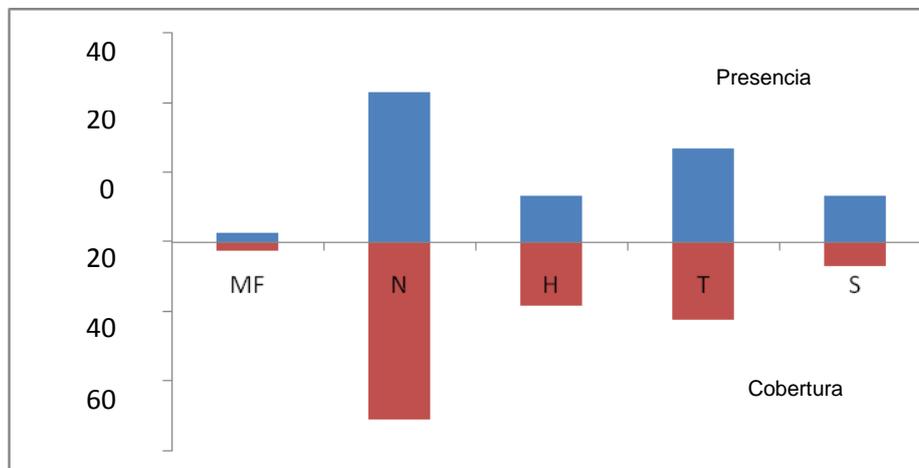


Figura 64. Cobertura específica de la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*

Predominan por presencia y cobertura los nanofanerófitos acompañados por suculentas (Tabla 19 y Figura 65).

Tabla 19 . Espectro biológico y de cobertura de comunidad de *Tricomaria usillo- Bulnesia retama*

Tipo biológico	F	N	H	T	S
Espectro biológico (presencia en %)	2,7	43,24	13,51	27,02	13,51
Espectro biológico cobertura (%)	2,21	51	18	22,18	6,61



MF: microfanerófito, N: nanofanerófito, H: hemicriptófito, T: terófito, S: suculento

Figura 65. Espectro biológico compensado de la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama*

Se registraron valores de conductividad eléctrica de 259 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y ph de 7,47 en sedimentos de esta comunidad (a 30 cm de profundidad).

3. Comunidad de *Prosopis flexuosa* Tabla 20

En los intermedanos entre 590 y 690 m, con influencia de freática por escurrimiento subsuperficial desde la Sierra de Pie de Palo, se presentan bosques con coberturas del 40 al 90 % (Figura 66) constituidos por *Prosopis flexuosa*, *Capparis atamisquea*, *Bulnesia retama*, acompañados por *Prosopanche americana*, *Tricomaria usillo*, *Atriplex lampa*, *Setaria mendocina*, *Trichloris pluriflora*, *T. crinita*, *Geoffroea decorticans*, *Verbesina encelioides*, etc (Figura 67).

Tabla 20. Composición específica de la comunidad de *Prosopis flexuosa*

Relevamientos	75	37	2	84	71	15	16	44	26	70	19	66	27	5	30	28	
	Intermediario	Algarrobal	Intermed	Intermediario	Aguada del Colorado	Planicie	Intermediario bajo	Bajo	Bajo	Microcuena	Algarrobal de la Puna	Algarrobal vidriera	Algarrobal	Intermed	Algarrobal	Algarrobal	Constancia
Cobertura	60	80	30	40	75	30	40	50	60	60	60	60	90	70	75	75	
<i>Prosopis flexuosa</i> DC.	4.1	3	2	1	1.1	1	1.1	1	1.3	1.2	3	2	4	3	5	3	V
<i>Capparis atamisquea</i> Kuntze	1.1	+	+	.	.	.	.	+	.	.	+	+	2	+	.	.	III
<i>Setaria</i> spp.	+	.	.	+	+	II
<i>Setaria mendocina</i> Phil.	+	+	.	.	+	.	3	1	II
<i>Trichloris pluriflora</i> Fourn.	+	.	.	.	+	.	+	+	II
<i>Amaranthus standleyanus</i> Parodi ex Covas	+	.	.	.	+	.	+	+	II
<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi	+	+	.	.	I
<i>Portulaca oleracea</i> L.	.	+	1	.	+2	2	II
<i>Zuccagnia punctata</i> Cav.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	I
<i>Bouteloua</i> spp.	+	+	.	.	.	I
<i>Tephrocactus articulatus</i> (Pfeiff.) Backeb. var. <i>articulatus</i>	.	.	+3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+2	.	.	I
<i>Larrea cuneifolia</i> Cav.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I
<i>Prosopanche americana</i> (R. Br.) Baill.	.	.	.	+	+	I
<i>Geoffraea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart	3.3	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I
<i>Talinum polygaloides</i> Gillies ex Arn.	+	.	.	.	+	.	.	.	I
<i>Prosopis chilensis</i> (Molina) Stuntz emend. Burkart	3.1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. & Hook. f. ex Gray	+	.	+	+	I
<i>Atriplex argentina</i> Speg.	.	+	+
De la comunidad de <i>Panicum urvilleanum</i>	
<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth	.	.	.	1	.	.	.	3	2	1	.	.	.	+	.	.	II
<i>Junellia aspera</i> (Gillies ex Hook.) Moldencke	+	+	I
De la comunidad de <i>Tricomaria usillo</i>	
<i>Bulnesia retama</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Griseb.	.	+	+	+	1	.	.	.	.	.	.	+	+	1	+	2	III
<i>Tricomaria usillo</i> Hook. & Arn.	.	.	1	3.2	.	.	3.3	3	3	+	.	+	.	2	.	1	III
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms spp. <i>glaucum</i> (Cav.) E	.	.	+	+	I
<i>Prosopis flexuosa</i> D.C. var. <i>depressa</i> Roig	+	+
<i>Opuntia sulphurea</i> Gillies ex Salm-Dyck var. <i>sulphurea</i>	+4	.	.	+
<i>Aristida adscensionis</i> L.	+	+
De la comunidad de <i>Atriplex lampa</i>	
<i>Atriplex lampa</i> (Moq.) D. Dietr.	.	.	.	+	.	.	+	2	3	1.2	+	2	2	2	1	+	IV
<i>Grahamia bracteata</i> Hook. & Arn.	2	.	.	.	1	.	.	.	I
<i>Atriplex lithophila</i> Soriano	.	+	+
<i>Plectrocarpa tetracantha</i> Gillies ex Hook. & Arn.	.	+	+
<i>Sclerophylax arnottii</i> Miers	1	.	+	.	I
<i>Gomphrena tomentosa</i> (Griseb.) R.E. Fr. var. <i>tomentosa</i>	+	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	I
<i>Ibicella parodii</i> Abbiatti	+	+
<i>Gomphrena boliviana</i> Moq. var. <i>boliviana</i>	+	+
<i>Pappophorum phillippianum</i> Parodi	+	+
Especies acompañantes	
<i>Ximena americana</i> L.	+	1.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	+2	.	.	.	.	+2	I
<i>Cucurbitella asperata</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Walp.	+	+	+	I
<i>Euphorbia catamarcensis</i> (Croizat) Subils	+	+
<i>Heliotropium mendocinum</i> Phil.	.	.	+	.	.	+	+	.	.	I
<i>Aristida inversa</i> Hack.	.	.	+	+	I
<i>Cereus aethiops</i> Haw.	+	+	.	.	I
<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	+	+
<i>Senecio goldsackii</i> Phil.	+	+
<i>Suaeda divaricata</i> Moq.	.	+	+	2	2	+	.	1	3	III
<i>Lycium tenuispinosum</i> Miers	.	.	+	+	.	.	+	.	.	I
<i>Sporobolus phleoides</i> Hack.	+	.	.	.	+	.	.	.	I
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	.	.	.	1	.	+	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Aristida mendocina</i> Phil.	+	+	+	+	II
<i>Bougainvillea spinosa</i> (Cav.) Heimerl	.	.	+	+	.	+	1	.	.	+	.	.	.	1	+	1	III
<i>Senna aphylla</i> (Cav.) Irwin & Barneby	.	.	+	+	+	.	.	I
<i>Heliotropium catamarcense</i> Johnst.	+	+
<i>Calycera calcitrapa</i> Griseb.	+	.	.	.	+
<i>Rhodophiala mendocina</i> (Phil.) Ravenna	.	.	.	+	+
<i>Euphorbia collina</i> Phil.	+	+
<i>Euphorbia ovalifolia</i> (Klotzsch & Garcke) Boiss.	+	.	.	.	+	.	+	.	I
<i>Monttea aphylla</i> (Miers) Benth. & Hook.	1	.	.	+
<i>Lycium gilliesianum</i> Miers	.	.	+	+
<i>Prosopis argentina</i> Burkart	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+



Figura 66. Imagen de la comunidad de *Prosopis flexuosa* en intermediano bajo. Al fondo la Sierra de Pie de Palo

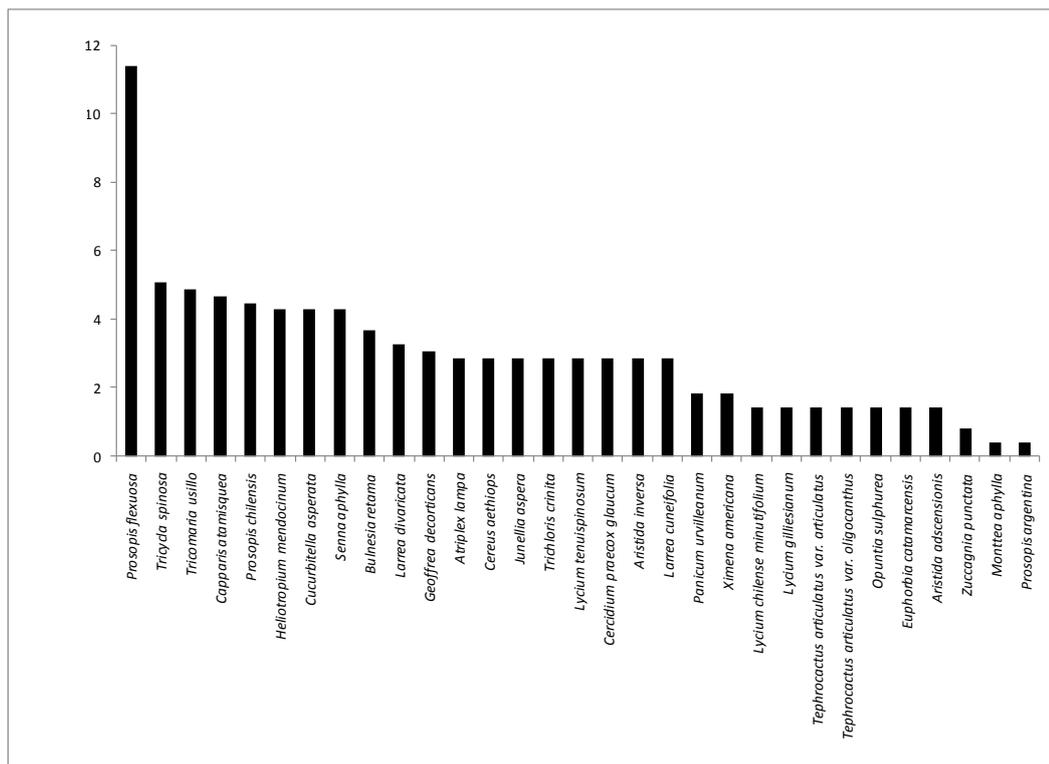
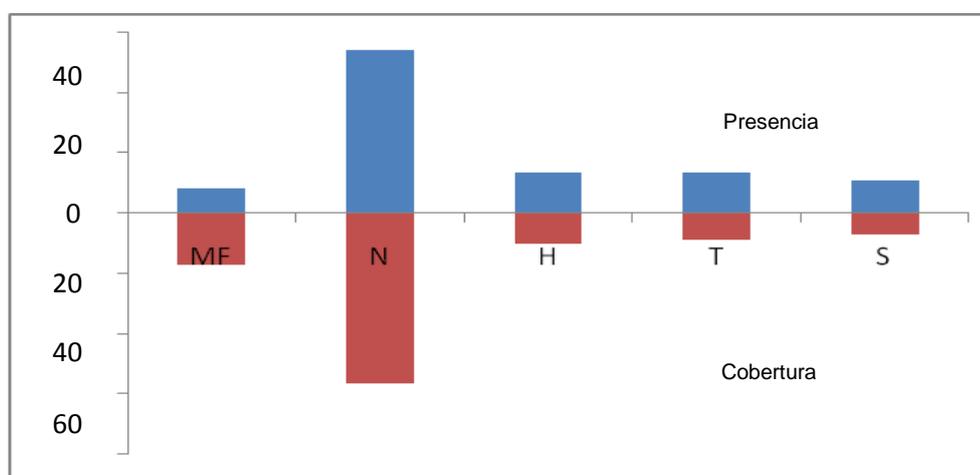


Figura 67. Cobertura específica en la comunidad de *Prosopis flexuosa*

Predominan los tipos biológicos nano y microfanerofitos (Tabla 21 y Figura 68).

Tabla 21. Espectro biológico y de cobertura de comunidad de *Prosopis flexuosa*

Tipo biológico	F	N	H	T	S
Espectro biológico (presencia en %)	8,1	54,05	13,51	13,53	10,81
Espectro biológico cobertura (%)	17,1	56,5	10,4	9	7



MF: microfanerófito, N: nanofanerófito, H: hemcriptófito, T: terófito, S: suculento

Figura 68. Espectro biológico compensado de la comunidad de *Prosopis flexuosa*

En intermedanos más bajos, entre 500-590 m, se presentan en el microrelieve sectores deprimidos, más salinos, donde *Suaeda divaricata* acompañada por *Atriplex lampa*, *Portulaca grandiflora*, *Sclerophyllax spp.* (Tabla 20) forma facies. Esta comunidad de *P. flexuosa* y *S. divaricata* en los médanos de Lavalle (Mendoza), ubicados al sur del área de estudio se encuentra en suelos con más de 500 mS/cm de conductividad eléctrica actual, con mayor cobertura de especies anuales y de indicadores de remoción (Gonzalez Loyarte *et al.*, 2000). Constituye una comunidad bi o triestratificada donde *S. divaricata* y *A. lampa* ocupan el estrato medio y las herbáceas y terófitas el inferior. Se extiende hasta el centro-este de Mendoza con similares características (Roig *et al.*, 1992). En el análisis de arena de esta comunidad (a 30 cm) se obtuvieron valores de conductividad eléctrica de 584 μ S/cm y pH de 7,51.

4. Comunidad de *Atriplex lampa* Tabla 22

Tabla 22 . Composición específica de la comunidad de *Atriplex lampa*

Relevamientos	77	67	68	87	86	76	65	53	33	25	24	23	34	Constancia
	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo salino	Bajo	Exp.sur	Bajo	Bajo	Talud salino (10mts)	base del medano	Contacto con bajo salino	Bajo	
Cobertura	50	70	90	90	40	40	40	30				40	5	
<i>Atriplex lampa</i> (Moq.) D. Dietr.	3	1	3	3	3.1	2	2	2.1	2	2.2	1	.	.	V
<i>Grahamia bracteata</i> Hook. & Arn.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	II
<i>Cortesia cuneifolia</i> Cav.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2	1	II
<i>Cressa nudicaulis</i> Griseb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	1	II
<i>Atriplex lithophila</i> Soriano	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	3	3	1	II
<i>Plectrocarpa tetraacantha</i> Gillies ex Hook. & Arn.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2.2	2	1	1	II
<i>Sclerophylax armottii</i> Miers	1.3	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	II
<i>Portulaca echinosperma</i> Hauman	+	+	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II
<i>Gomphrena tomentosa</i> (Griseb.) R.E. Fr. var. <i>tomentosa</i>	.	.	+	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	II
<i>Ibicella parodii</i> Abbiatti	+	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	II
<i>Prosopis strombulifera</i> (Lam.) Benth. var. <i>strombulifera</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.2	1.2	.	.	I
<i>Cyclolepis genistioides</i> D. Don	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	I
<i>Atriplex deserticola</i> Phil.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	I
<i>Heterostachys ritteriana</i> (Moq.) Ung.-Sternb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	+	I
<i>Lecanophora heterophylla</i> (Cav.) Krapov.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	I
<i>Gomphrena boliviana</i> Moq. var. <i>boliviana</i>	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Pappophorum phillippianum</i> Parodi	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	I
<i>Eragrostis</i> spp.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I
<i>Cottea pappophoroides</i> Kunth.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+
<i>Chloris</i> spp.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
De la comunidad de <i>Panicum urvilleanum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth	+	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Junellia aspera</i> (Gillies ex Hook.) Moldencke	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	I
<i>Solanum euacanthum</i> Phil.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
De la comunidad de <i>Tricomaria usillo</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bulnesia retama</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Griseb.	2.1	1	+	+	.	.	+	+	.	.	.	.	+	III
<i>Tricomaria usillo</i> Hook. & Arn.	.	1	+	+	+	.	+	2.1	.	2.2	.	.	.	III
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms spp. <i>glaucum</i> (Cav.) E	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
De la comunidad de <i>Prosopis flexuosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Prosopis flexuosa</i> DC.	1.1	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	II
<i>Capparis atamisquea</i> Kuntze	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Setaria</i> spp.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	+
<i>Trichloris pluriflora</i> Fourn.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Portulaca oleracea</i> L.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Geoffraea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	+
<i>Talinum polygaloides</i> Gillies ex Arn.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. & Hook. f. ex Gray	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
Especies acompañantes	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Senecio goldsackii</i> Phil.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Ephedra boelckeii</i> Roig	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Lycium chilense</i> Miers ex Bertero var. <i>minutifolium</i> (Miers) Barkley	1	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Suaeda divaricata</i> Moq.	3	1	1	2	+	.	.	.	.	+	.	+	1	IV
<i>Lycium tenuispinosum</i> Miers	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Sporobolus phleoides</i> Hack.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	2	.	.	.	+	+	2	+	2	.	.	.	.	III
<i>Aristida mendocina</i> Phil.	+	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	II
<i>Bougainvillea spinosa</i> (Cav.) Heimerl	.	.	.	.	.	.	1	+	.	.	.	.	.	I
<i>Senna aphylla</i> (Cav.) Irwin & Barneby	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Heliotropium catamarcense</i> Johnst.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Calycera calcitrapa</i> Griseb.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Rhodophiala mendocina</i> (Phil.) Ravenna	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Euphorbia collina</i> Phil.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Euphorbia ovalifolia</i> (Klotzsch & Garcke) Boiss.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Gomphrena aff mendocina</i> Phil.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Polygala</i> spp.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Prosopis argentina</i> Burkart	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+

En los taludes de las dunas, con alturas entre 10-15 m, en contacto con ambientes salinos con suelos limo-arcillosos, se desarrolla una comunidad compuesta por *Atriplex lampa*, *Atriplex lithophila*, *Grahamia bracteata*, *Plectrocarpa tetraacantha*, *Prosopis strombulifera* y *Cyclolepis genistoides* (Figura 69 y 70)



Figura 69. Imagen de la comunidad de *Atriplex lampa*

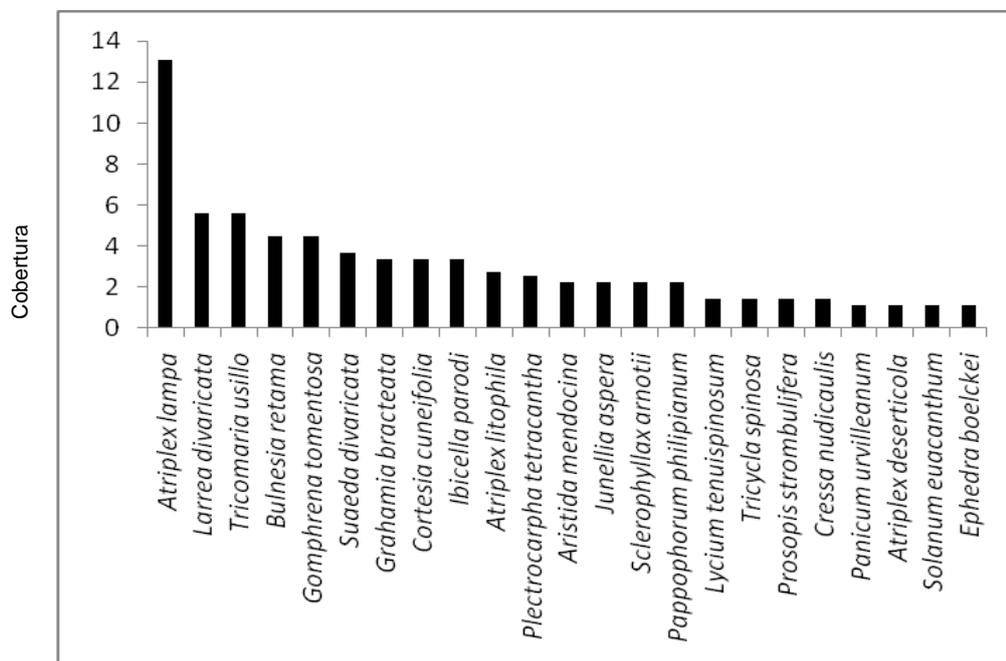
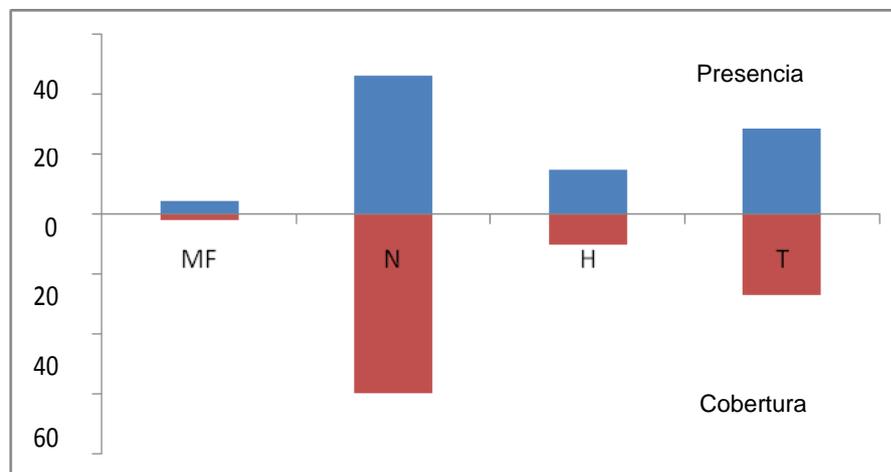


Figura 70. Cobertura específica en la comunidad de *Atriplex lampa*

En esta comunidad presentan mayor cobertura los nanofanerófitos y los terófitos (Tabla 23) (Figura 71). Especies efímeras como *Sclerophyllax arnotii* y *Portulaca echinosperma* forman facies de 15-20% de cobertura.

Tabla 23 . Espectro biológico y de cobertura de comunidad de *Atriplex lampa*

Tipo biológico		MF	N	H	T
Espectro biológico (presencia en %)		4,17	45,8	14,6	35,4
Espectro biológico cobertura (%)		2,24	60,10	10,38	27,28



MF: microfanerófito, N: nanofanerófito, H: hemicriptofito, S: suculento, T: terófito

Figura 71. Espectro compensado de comunidad de *Atriplex lampa*

Existe una estrecha relación entre las características fisicoquímicas del agua freática y la vegetación (Bernáldez *et al.*, 1992; Boeye *et al.*, 1994; Muñoz Reinoso, 1995). En localidades cercanas a los Médanos Grandes hay numerosos pozos excavados y perforaciones de los cuales se ha extraído agua subterránea que supera los 4.000 microSiemens/cm. El agua freática salina determina, en los sectores más bajos en contacto con la llanura de divagación del río Bermejo, la presencia de médanos salinos que presentan conductividad eléctrica que puede alcanzar los 30200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH: 7,87. Por ello la presencia de especies halófilas como *P. tetraantha*, *P. strombulifera* y *Heterostachys ritteriana*.

5.3.2 Diversidad por comunidad

La comunidad de *A. lampa* es la más diversa en cuanto a coberturas, mientras que la de *P. urvilleanum* es la menos diversa; sin embargo, la de mayor riqueza específica es la de *P. flexuosa* con 59 especies y la de menor riqueza la de *P. urvilleanum* con 40 especies (Tabla 24). La condición de sitio de la comunidad de *P. urvilleanum*, en crestas activas o semifijas, determina menor número y cobertura de especies, en la comunidad de *P. flexuosa* los suelos con texturas finas por inundación permiten mayor número de especies.

Tabla 24: Diversidad de las comunidades

Comunidades	IDShannon	LI	LS	Riqueza específica
<i>Panicum urvilleanum</i>	1,89	1,55	2,07	40
<i>Tricomaria usillo-Bulnesia retama</i>	2,05	1,57	2,22	53
<i>Prosopis flexuosa</i>	2,21	1,78	2,33	59
<i>Atriplex lampa</i>	2,41	1,81	2,59	52

LI: límite inferior, LS: límite superior del IDShannon

5.3.3 Dinamismo de la vegetación (Dinámica catenal)

En los Médanos Grandes se presentan dos seres: la sammosere y la halosere.

- **Sammosere:**

La vegetación de las especies pioneras constituye una comunidad vegetal transitoria por su breve existencia y está integrada por especies herbáceas tolerantes a las condiciones de erosión-acumulación que imperan en las zonas más móviles del sistema, donde hay grandes movimientos de arena.

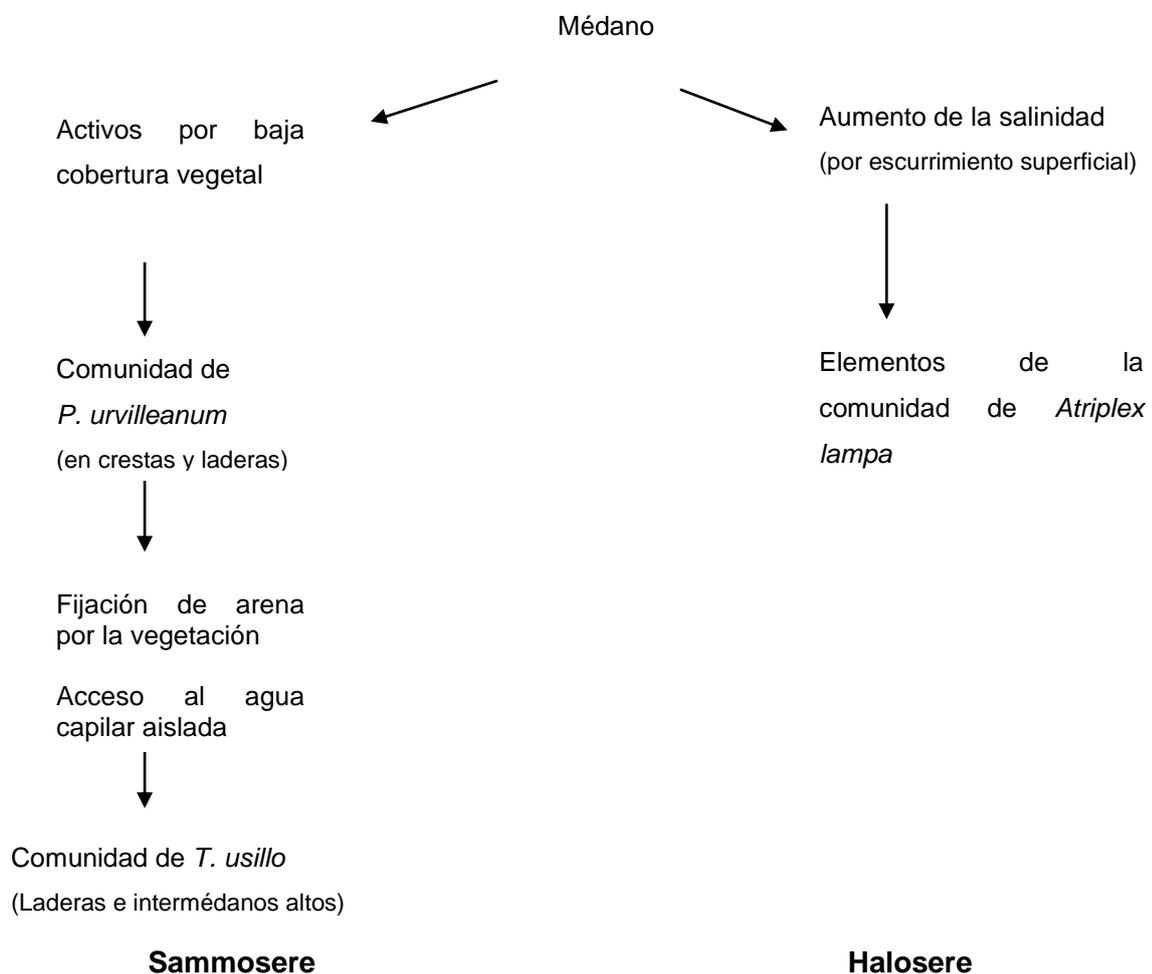
Predominan las herbáceas rastreras y postradas, las amacolladas con estolones tolerantes al enterramiento con rizomas de crecimiento indefinido. En los Médanos Grandes la comunidad de *Panicum urvilleanum* es la que cumple este papel, especialmente en las crestas activas. En estos ambientes las herbáceas vivaces constituyen la comunidad estable y que a su vez se comporta como pionera.

Con el tiempo, y el inicio de la estabilización de la arena de la duna, hay mayor cobertura de la vegetación, disminuye el movimiento de arena y en general las condiciones son menos drásticas. Sobre la matriz del pastizal comienzan a instalarse

los arbustos (*Tricomaria usillo*, *Bulnesia retama*, *Larrea divaricata*) aumentando la retención de la arena y en ocasiones formando nebkhas.

Halosere

En los ambientes más bajos, intermédanos a 550 m y zonas de contacto con la planicie del río Bermejo, los escurrimientos superficiales aportan sedimentos con mayor contenido en sodio, en estos casos, y en función con la profundidad de la arena depositada, los médanos son salinos y se instalan elementos de la comunidad de *A. lampa*, algo similar ocurre en los intermédanos bajos cuando asciende la freática salina (Figura 72).



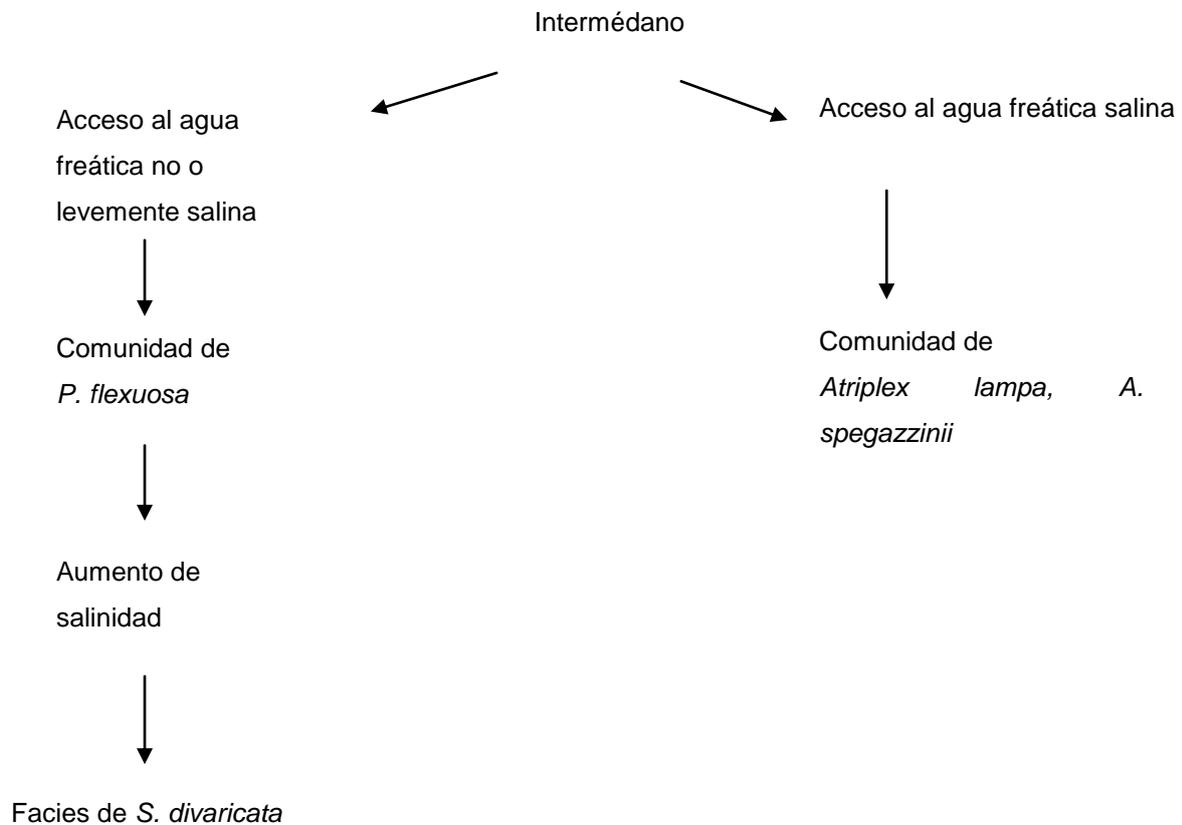


Figura 72. Dinamismos de la vegetación en médanos e intermédanos

5.3.4 Sintaxonomía

Desde el punto de vista sintaxonómico, la vegetación del sistema eólico de Médanos Grandes pertenece a tres clases de vegetación:

En ambientes sammófilos:

Clase: *Panico urvilleani-Sporoboletea rigentis* Esk., 1992. Caracterizada principalmente por *Sporobolus rigens*, *Hyalis argentea*, *Panicum urvilleanum* y *Senecio filaginoides* que también está presente en las dunas costeras del clima templado subárido y árido. En las antedunas aparecen elementos de ambientes salinos como *Calycera crassifolia*.

Alianza del *Sporobolo rigentis-Panicion urvilleani* Esk., 1992, comunidades abiertas, constituidas principalmente por gramíneas estoloníferas, sobre dunas con fuerte acumulación de arena.

Asociación *Hyalietum argenteae latiquasmae* Martínez Carretero, 2004, comunidad de médanos activos, especialmente de crestas azotadas por el viento.

En ambientes halófitos:

Clase *Suaedetia divaricatae* Alonso et Conticello ex Martínez Carretero, 2001

En suelos salinos de desiertos cálidos y templados de Argentina. Con distribución en el Monte.

Orden *Cortesia-Prosopietalia strombuliferae* Martínez Carretero, 2001

Comunidad de *Atriplex lampa*

Clase *Larreetea divaricato-cuneifoliae* Roig, 89

Comunidades de arbustos perennes y resinosos del Monte.

Comunidad de *P. flexuosa* y de *T. usillo-B. retama*

5.4 Conclusiones

Se estableció para el sistema eólico de los Médanos Grandes la presencia de cuatro comunidades vegetales: el pastizal de *Panicum urvilleanum* en las crestas, los matorrales de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* en los intermédanos altos y taludes, el bosque de *Prosopis flexuosa*, y matorrales halófitos de *Atriplex lampa* en los intermédanos bajos. En la primera dominan por cobertura las hemicriptófitas, en las restantes los nanofanerófitos. La mayor cobertura de terófitas se presenta en la comunidad de *Atriplex lampa* de los sectores principalmente sud-sudeste del sistema eólico, que presentan en verano un 50 % más de precipitaciones respecto al resto del área.

Las asociaciones presentes pertenecen a tres clases de vegetación: la *Panico urvilleani-Sporoboletea rigentis* Esk., 1992, la *Suaedetia divaricatae* Alonso et Conticello ex Martínez Carretero, 2001 y la *Larreetea divaricato-cuneifoliae* Roig, 89.

Se proponen series dinámicas en función de la dinámica de las arenas y de la salinidad de los suelos.

Considerando la distribución hasta ahora conocida en Argentina de las especies sammófilas relevadas en el sistema de Médanos Grandes, surge un conjunto que se restringe a los ambientes medanosos continentales: *Heliotropium catamarcense*, *H. curassavicum* var. *fruticulosum*, *Euphorbia marayensis*, *E. ruiz-lealii*, *E. collina*, *Calycera calcitrapa*, *Gomphrena tomentosa* var. *tomentosa*, *G. mendocina* var. *mendocina*, *G. boliviana* var. *boliviana*, *Glandularia microphylla*, *Senecio goldsackii*, *Aristida inversa*, *Prosopidastrum dehiscens*, *Pyrrhocactus sanjuanensis*, *Portulaca echinosperma* y *Prosopis argentina*. Este conjunto de especies separa florísticamente a los médanos continentales de los sistemas sammófilos costeros.

CAPÍTULO VI

Paisaje vegetal

6.1 Introducción

En este capítulo se analiza el paisaje vegetal de los Médanos Grandes desde el enfoque Geosinfitosociológico que implica estudiar los complejos de vegetación, basado en conocimientos florísticos, fitosociológicos, corológicos y geomorfológicos.

Para ello, se analizan integradamente los elementos constitutivos: geomorfología y vegetación y se estudian los complejos vegetales, entendidos como la agrupación de asociaciones (comunidades) en un área fisiográficamente homogénea y en una condición bioclimática determinada.

De acuerdo a la teoría de los complejos, todo paisaje está conformado por unidades subordinadas de distinto orden presentes en una determinada combinación, pudiendo ser establecido en función del complejo que se estudie (Roig, 1989; Martínez Carretero *et. al.*, 1992).

El estudio del paisaje vegetal a partir de este marco teórico implica una visión dinámica de la vegetación, por lo que se analizan sus series dinámicas, las comunidades de máxima madurez y sus etapas. Bajo esta óptica se pueden citar para Argentina los trabajos de Roig (1989) y Martínez Carretero y Roig (1992).

6.2 Metodología

A la escala de trabajo, E: 1.100.000, se establecieron las unidades geomorfológicas y las unidades subordinadas a nivel de geotopo (Capítulo 2). En cada unidad geomorfológica se determinó la dominancia de los geotopos según la superficie ocupada por cada uno.

Para la determinación de las superficies se empleó un planímetro óptico acumulativo sobre sectores de la imagen satelital de superficie conocida y de escala conocida.

Las comunidades vegetales determinadas florísticamente se analizaron en relación con los elementos del relieve (geotopos).

Para valorar la cobertura de cada unidad de relieve-vegetación se aplicó la escala: $r < 1\%$, $+ = 1-5\%$, $1 = 5-10\%$, $2 = 10-25\%$, $3 = 25-50\%$, $4 = 50-70\%$ y $5 > 70\%$ (Martínez Carretero y Roig, 1992), considerando la superficie ocupada por cada unidad fisiográfica.

Con estos valores se construyó un cuadro comparativo donde se comparó la importancia relativa entre las diferentes unidades de vegetación surgiendo complejos de unidades que corresponden a paisajes vegetales distintos.

6.3 Resultados

En las unidades geomorfológicas delimitadas previamente los geotopos considerados fueron: laderas medianosas, intermedanos altos (a más de 690 m), intermedanos medios (entre 590-690 m), intermedanos bajos (entre 500-590 m), crestas con vegetación, crestas activas y sectores bajos en contacto con planicies fluviales.

En las unidades con megadunas dominan, porcentualmente, las laderas con diferentes exposiciones. En la Tabla 25 se presentan para las subunidades geomorfológicas el porcentaje de cobertura de cada geotopo.

Tabla 25. Presencia espacial en porcentaje de cada geotopo en las subunidades geomorfológicas

Geotopo/subunidad	1.1	1.2	1.3	1.4	Promedio
Crestas fijas y semifijas	5,2	3,9	3,6	9	5,4
Crestas activas	3,6	0,1	0,1	0,2	1
Laderas medianosas	57,1	62,2	63,4	57,8	60
Intermedanos altos (más 690 m)	11	14,8	2,0	10,5	10
Intermedanos medios (590-690 m)	19,0	16,2	4,3	20,8	15
Intermedanos bajos (500-590 m)	4,7	2,9	27,6	0	8,8

En la subunidad 1.1 los intermedanos medios son los más importantes por la superficie que ocupan. Esta subunidad geomorfológica se ubica en el noroeste del sistema eólico y presenta megadunas de hasta 100 m. Tripaldi (2002) considera a esta área como la más moderna, lo que explicaría que presente la mayor cantidad de crestas activas.

En la subunidad 1.2 resalta la baja presencia de crestas activas, es la unidad con mayor porcentaje de intermedanos a más de 690 m.

En la subunidad 1.3, a diferencia de las anteriores, dominan los intermedanos bajos, con muy poca presencia de intermedanos medios y altos. Esta subunidad ubicada al noreste del sistema correspondería al área más antigua (Tripaldi, 2002).

En la subunidad 1.4 las crestas alcanzan el mayor valor de presencia dentro del sistema, sin que se hayan detectado intermedanos bajos. Corresponde al sector centro-sur del área con megadunas con escasa influencia fluvial.

En las unidades sin megadunas, las subunidades 2.1 y 2.2, el relieve tan plano dificultó el estudio en detalle, en ambas dominan dunas muy bajas (<10 m) y es importante la influencia de los ríos Bermejo y San Juan.

La presencia espacial de cada unidad fisiográfica (relieve-vegetación), según la escala de dominancia para el sistema Médanos Grandes, se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Unidades fisiográficas, relieve y vegetación de los Médanos Grandes

	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.1	Escala Dominancia
<i>Panicum urvilleanum</i> /crestas fijas y semifijas	1	+	+	1	.	.	1
<i>Panicum urvilleanum</i> /crestas activas	+	+	+	+	.	.	+
<i>Tricomaria usillo-Bulnesia retama</i> /laderas	4	4	4	4	.	.	4
<i>Tricomaria usillo-Bulnesia retama</i> /intermédanos altos	2	2	r	2	.	.	2
<i>Prosopis flexuosa</i> / intermédanos medios	2	2	+	2	.	.	2
<i>Prosopis flexuosa</i> / intermédanos bajos	+	+	3	.	.	.	1
<i>Atriplex lampa</i> /suelos hidromórficos	.	.	.	.	4	4	4

Considerando el análisis integrado, a nivel de sistema eólico en conjunto, se proponen las unidades de paisaje relacionando los complejos de vegetación y las unidades geomorfológicas ordenadas jerárquicamente (Tabla 27).

Tabla 27. Paisajes Vegetales de los Médanos Grandes

Comunidades vegetales	Paisaje						
	I						II
	Sistema eólico						Sistema fluvio-eólico
	Subpaisaje						
	la	lb			lc		
	Unidades geomorfológicas						
	Con megadunas						Sin megadunas
	Crestas fijas y semifijas	Crestas activas	Laderas medanosas	Intermedanos altos	Intermedanos medios	Intermedanos bajos	Suelos hidromórficos
<i>Panicum urvilleanum</i>	1	+					
<i>Tricomaria-Bulnesia</i>			4	2			
<i>Prosopis flexuosa</i>					2	1	
<i>Atriplex lampa</i>							4

De este análisis surgen dos Unidades de Paisaje: **Paisaje I de Sistema eólico** y **Paisaje II de Sistema fluvio-eólico** (Figura 73).

En el **Paisaje I** que cubre aproximadamente 930 km² se indican tres **Subpaisajes**, el **la** dominado por la comunidad de *Panicum urvilleanum* en crestas semifijas y activas, el **lb** dominado por la comunidad de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* en laderas medanosas e intermedanos altos y el **lc** con el dominio de la comunidad de *Prosopis flexuosa* en intermedanos medios y bajos. El **Paisaje II** con 800 km², correspondiente al 45 % de la superficie total, está dominado por la comunidad de *Atriplex lampa*.

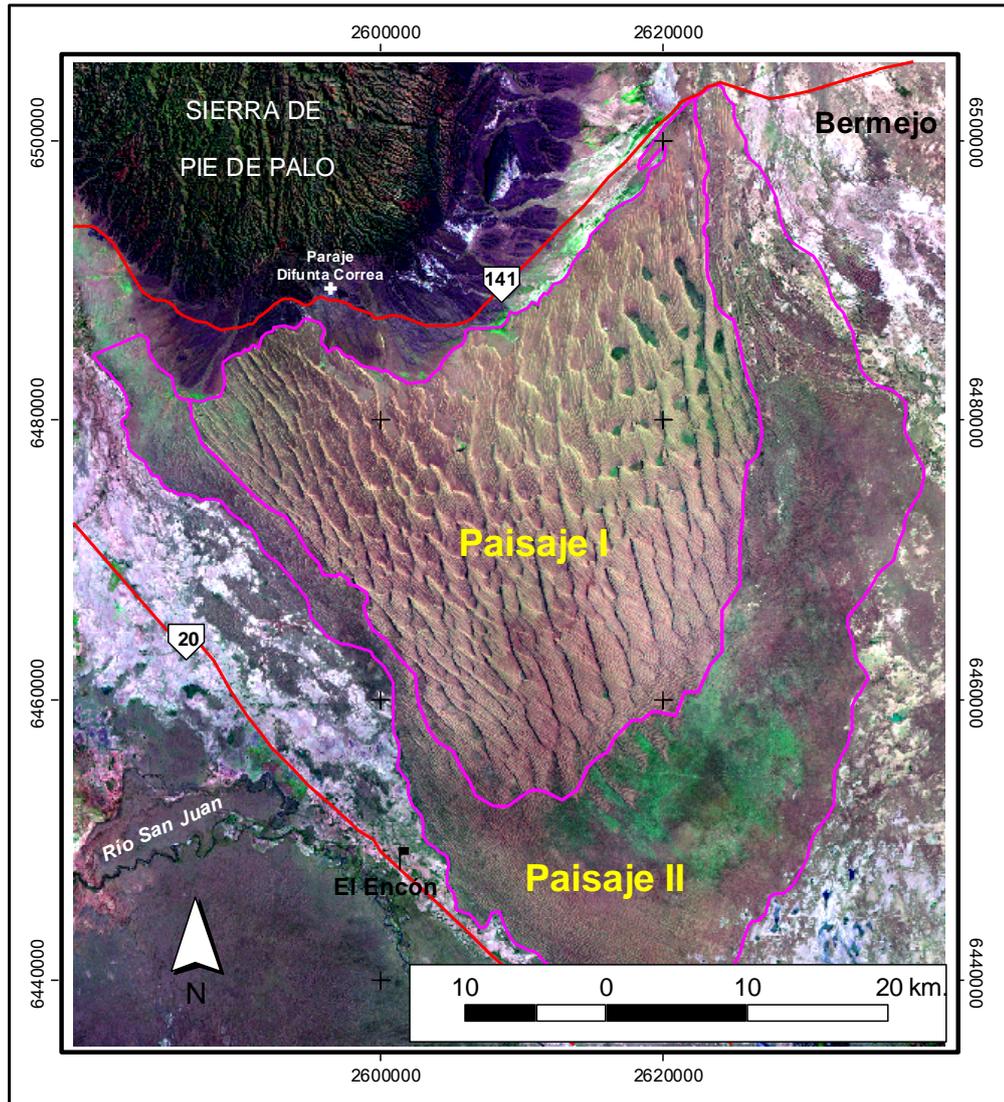


Figura 73. Paisaje vegetal de los Médanos Grandes: Paisaje I de Sistema eólico y Paisaje II de Sistema fluvio-eólico

6.4 Conclusiones

El análisis integrado de los complejos de vegetación y las asociaciones geomorfológicas permitió definir dos paisajes vegetales en el sistema de Médanos Grandes. El Paisaje I de Sistema eólico con tres subpaisajes: el dominado por la comunidad de *Panicum urvilleanum* en crestas semifijas y activas, el de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* en laderas medianosas e intermedanos altos y el dominado por la comunidad de *Prosopis flexuosa* en intermedanos medios y bajos y el Paisaje II de Sistema fluvio-eólico: dominado por la comunidad de *Atriplex lampa*.

En el sistema de Médanos Grandes, el geosigmetum (conjunto dinámico del paisaje vegetal) está constituido por las comunidades estables de *P. urvilleanum* y de

Tricomaria usillo-Bulnesia retama, integrando la catena dunaria de cresta-ladera/intermédano alto, donde las diferencias topográficas determinan la distribución de las comunidades.

CAPÍTULO VII

Conclusiones Generales

En este trabajo se estudió la vegetación samófila de uno de los sistemas eólicos más importantes de Argentina mediante el análisis geosinfitosociológico. Se analizaron las interacciones entre los procesos geomorfológicos y la vegetación de dunas a escala 1:100.000 y a nivel de geotopo.

Las unidades y subunidades geomorfológicas detectadas en los Médanos Grandes coinciden parcialmente con trabajos previos (Suvires (1984), Cevallos (1996) Tripaldi (2002). El presente estudio, a partir del análisis geomorfológico más detallado y los trabajos de corroboración en el campo, reconoce como importante la presencia de intermédanos a distintas alturas topográficas que presentan diferentes comunidades vegetales. Desde el enfoque geomorfológico se detectaron patrones complejos en el sistema medanoso, relacionados con el origen policíclico del sistema bajo distintas direcciones de vientos. Smith (1968) en un estudio aéreo de las dunas del norte de África, encontró también patrones complejos de dunas y los asoció con cambios climáticos, fundamentalmente en la dirección de los vientos. Cooke y Warren, (1973) sostienen que, en una escala global, los patrones complejos son mucho más comunes que formas simples.

Se identificaron dos subambientes relacionados con diferentes sistemas de modelado en función de la altura de los médanos, creciente hacia el centro del sistema y la influencia marginal de los ríos; uno está dominado por procesos eólicos con megadunas y otro por procesos fluvio-eólicos. Esta asociación espacial y temporal de acumulaciones eólicas con depósitos fluviales y, en menor medida, lacustres efímeros ha sido descrita por Tripaldi y Limarino (1998) para los valles del oeste y noroeste argentino. En el primer subambiente se destaca la presencia de megadunas o draas, que la geomorfología de desiertos la reconoce como un orden superior de forma de acumulación de arena, siendo estructuralmente análogos a las dunas pero en una escala mayor (Cooke y Warren, 1973); en el segundo, la penetración de escurrimientos superficiales con aguas poco o medianamente salinas o subsuperficiales con aguas salinas en los intermédanos bajos.

El sistema presentó características bioclimáticas particulares siendo el más árido de los ambientes samófilos argentinos. La precipitación promedio es de 140 mm anuales, la metodología utilizada permitió detectar variaciones entre los subambientes. En el sector con megadunas el promedio es de 97,6 mm y en el sector sin megadunas de 167,5 mm anuales. Estas diferencias de precipitación, junto con la influencia de los sistemas fluviales del río San Juan y Bermejo en los sectores marginales, fundamentalmente en el sudeste, influyen a escala local en el desarrollo de las comunidades vegetales.

El factor climático condiciona la dinámica dunaria, siendo el periodo de primavera-verano el de condiciones óptimas que favorecen la deflación tanto por la frecuencia de vientos con velocidades críticas como por las escasas precipitaciones. El índice de Deriva Potencial de arena para el sistema eólico es de 42, lo que sugiere un ambiente actual de vientos de muy baja energía (Fryberger, 1979) en la región.

El sistema, en general estabilizado y fijo, tiene actividad sólo en las crestas con escasa cobertura vegetal donde se encuentra la comunidad de *Panicum urvilleanum*, semejante a lo que ocurre en los médanos vivos o crestas activas azotadas por el viento (Frenguelli y Cabrera, 1939; Martínez Carretero, 2004). En los taludes se desarrollan comunidades de matorrales de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* con 20-40 % de cobertura. Moreno-Casasola (1986) encontró en dunas costeras este tipo fisonómico sólo en sitios sin ningún movimiento de arena. En los intermédanos la disminución de la velocidad del viento y del movimiento de arena, así como la mayor disponibilidad de agua, influyen en el aumento de la cobertura vegetal permitiendo la presencia de elementos arbóreos.

En el área con predominio del modelado eólico la dinámica del movimiento de arena por el viento lleva a la formación de nebkhas en barlovento y sotavento cuya edad aproximadamente es de 40-45 años, con una tasa constante de crecimiento en altura estimada en 0,011 cm/año. En cuanto a la erosión hídrica, la tasa media constante de erosión hídrica en cubetas fue de 0,138 m³/año siendo mayor en los intermédanos.

La actividad de los sistemas samófilos no se refiere exclusivamente al transporte de sedimentos, sino que debe considerar la dinámica de la vegetación (Hugentholtz *et al.*, 2005) ya que la misma juega un papel determinante en la dinámica de la arena y en el modelado de este sistema, estando estrechamente relacionada con la disponibilidad de agua. En esta tesis se plantean tres modelos de disponibilidad de agua: -de escurrimiento superficial y subsuperficial desde la bajada pedemontana de la sierra de Pie de Palo al norte, -de la freática relacionada con los ríos San Juan, al oeste, y Bermejo, al este y -por el agua de lluvia que en las megadunas determina un bulbo húmedo con contenidos de 1,21-2,4 g de agua/100 g de arena, entre los 15-35 m de profundidad, disponible para las raíces de los arbustos y árboles, siendo los valores obtenidos de contenido de agua en profundidad coherentes con los que refiere Muller-Hohenstein(1992) para sistemas eólicos de Arabia y Norte de África.

La vegetación sammófila, por su relación con las condiciones de suelo, se constituye por comunidades edáficas. En las comunidades sammófilas las hemicriptófitas, por su sistema radical, y la terófitas por su ciclo de vida, que les

permiten un uso eficiente de las escasas lluvias, son las formas de vida más importante. Werger (1978) destaca a estas bioformas como relevantes para el desierto de Kalahari. En los Médanos Grandes la diversidad establecida en la disponibilidad de agua se evidencia por el dominio por cobertura de las hemcriptófitas en las crestas; mientras que la mayor cobertura de terófitas se presenta en la comunidad de *Atriplex lampa* en los sectores principalmente sud-sudeste del sistema eólico, que presentan en verano casi un 50 % más de precipitaciones respecto al resto, en los taludes e intermédanos predominan los nanofanerófitos.

Se identificaron 99 especies pertenecientes a 32 familias, siendo poáceas (23 especies), fabáceas (13 especies) y asteráceas (13 especies) las mejor representadas, coincidiendo con los resultados de estudios de la vegetación samófila del mundo en que las familias poáceas y fabáceas son las que mejor utilizan el biotopo dunario (Müller-Hohenstein, 1992).

Las condiciones bioclimáticas particulares del sistema estudiado permite la presencia de comunidades vegetales y de series dinámicas propias, reguladas principalmente por factores locales.

Los factores locales como altura del sistema de médanos creciente hacia el centro del mismo, ubicación relativa de los intermédanos (altos o bajos), influencia del viento dominante con capacidad de transporte de arena (deriva potencial), y disponibilidad de agua en el suelo, principalmente, determinaron la distribución de las comunidades vegetales en los Médanos Grandes, evidenciando la correspondencia entre geomorfología y vegetación de las dunas (Doing, 1985; Moreno-Casasola *et al.*, 1986; Muller-Hohenstein, 1992; Monserrat, 2010).

Del estudio florístico surgieron cuatro comunidades vegetales que dominan en el sistema: el pastizal de *Panicum urvilleanum* en las crestas, el matorral de *Tricomaria usillo-Bulnesia retama* en las laderas de las dunas e intermédanos altos (más de 690 m), el matorral de *Atriplex lampa* en los sectores marginales con suelos salinos y el bosque de *Prosopis flexuosa* en los intermédanos bajos.

Sintaxonómicamente la vegetación pertenece a tres Clases descriptas previamente y ampliamente distribuidas en Argentina, la *Panico urvilleani-Sporoboletea rigentis* Esk., 1992 en ambientes sammófilos, la *Suaedetea divaricatae* Alonso et Conticello ex Martinez Carretero, 2001 en ambientes halófilos y *Larreetea divaricato-cuneifoliae* Roig, 89.

En el presente estudio se determinan los paisajes vegetales, considerando la distribución hasta ahora conocida en Argentina de las especies sammófilas relevadas en el sistema de Médanos Grandes, surge un conjunto de 16 especies que se

restringe a los ambientes medanosos continentales y los separa florísticamente de los sistemas sammófilos costeros.

Aportes de la Tesis

El análisis empleado ha permitido contribuir al conocimiento de la vegetación sammófila de Argentina. Si bien hay algunos estudios florísticos y de erosión de ambientes de médanos (continentales y costeros) en Argentina, la información es dispersa y no integrada en el análisis de sistemas concretos. Por otra parte, Médanos Grandes a pesar de su importancia areal y bioclimática (local y regional) carece de estudios de base bio-física.

El análisis de la relación movimiento de arena y vegetación permite concluir que el sistema se encuentra estabilizado. Planteándose, además, explicaciones sobre distintas formas de disponibilidad de agua para las plantas en las dunas, fundamentalmente en profundidad.

Se ha comparado la vegetación de dunas continentales y litorales argentinas determinando un conjunto de especies que corresponden exclusivamente a ambientes samófilos continentales.

Se han integrado los aspectos geomorfológicos y de vegetación estableciendo los paisajes vegetales y se proponen dos hipótesis dinámicas.

Hasta el momento no se dispone de ningún estudio integrado de los sistemas sammófilos en Argentina, y en áreas carentes de datos ambientales; por ello la información generada es de suma relevancia para entender la estructura y funcionamiento de los sistemas de médanos continentales.

Por otra parte, la información generada es fundamental en cuanto las variaciones en la actividad de las dunas continentales pueden ser utilizadas como indicadores del cambio climático. Thomas *et al.* (2005) en el Kalahari utilizando modelos climáticos demostraron que la relación erodabilidad de la superficie de la duna y erosividad atmosférica es susceptible a estos cambios, de manera que dunas hoy estables, como el caso estudiado, pueden ser activadas en el futuro por el calentamiento global.

El uso intensivo, además de las sequías, pueden desestabilizar las dunas eliminando o disminuyendo la cobertura vegetal perenne y acelerando los procesos de erosión eólica (Hesse, 2006). En los Médanos Grandes incursiones de vehículos todo terreno son la presión humana actual, aunque los conductores normalmente viajan por las mismas pistas no registrándose ningún uso histórico, por lo que cambios en la actividad de las dunas se relacionarán con condiciones climáticas.

Se plantea, a partir de esta tesis, la necesidad de estudiar:

- El dinamismo de los nebkhas en el centro del sistema sammófilo, de mayor continentalidad local y con sistemas convectivos locales (hasta ahora prácticamente inaccesibles)
- El movimiento del agua en poro grande seco, especialmente para confirmar la variabilidad del agua capilar aislada en profundidad.
- El banco de semillas de terófitas y su distribución según las comunidades vegetales determinadas
- La relación fisiológica entre la distribución de las precipitaciones y la respuesta de los hemcriptófitos y nanofanerófitos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSETTI, J.A., MÉNDEZ, E. 1983. Los tipos biológicos de Raunkier en las comunidades vegetales de Río Turbio, Provincia de Santa Cruz, Argentina. *Deserta* 7: 12-39.

APARICIO, E.P., 1984. Geología de San Juan. Fac.C.E.F. y Nat. Universidad Nacional de San Juan.1-167.

ARDON, K., TSOAR, D., BLUMBERG G. 2009. Dynamics of nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics. *Journal of Arid Environments* 73. 1014–1022.

BARKER, R.D. 1989. Depth of investigation of collinear symmetrical four electrode arrays. *Geophysics*, 54. 1031- 1037 p.

BARREDO CANO, J., BOSQUE SENDRA, J.1996. Delimitación de unidades homogéneas del relieve a partir de un Modelo Digital de Elevación. *Estudios Geográficos* Nº 225, Pág, 615-643.

BERG, L.1931. Landscape-geographical zones of the URSS, part 1. Moscú. Mosvka (Russ.)

BERNÁLDEZ, F.C. & J.M. REY BENAYAS 1992. Geochemical relationships between groundwater and wetland soils and their effects on vegetation in central Spain. *Geoderma* 55: 273-288.

BERTRAND, G.1968. Paysage et geographic physique globale. Esquisse metodologique: *Rev. Geogr. et Sud. Quest.* 39(3) :249-272.

BERRA, A., CIANCAGLINI, N., 1979. Mapas de evapotranspiración potencial de la provincia de Mendoza. Cuaderno Técnico 1-79:1-37, IADIZA.

BÉRTOLA, G.R., CORTIZO, L.C.2005. Transporte de arena en médanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. ISSN 0004-4822.

BOEYE, D. & R.F. VERHEYEN 1994. The relation between vegetation and soil chemistry gradients in a ground water discharge fen. *Journal Vegetation Science*. 5: 553-560.

BRAUN-BLANQUET, J., 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Blume (ed.), 820 pp.

CABRERA A. L., 1936. Apuntes sobre la vegetación de las dunas de Juancho. *Notas del Museo de La Plata T I, Bot.* Nº 8: 207-236.

CABRERA A. L., 1940. La vegetación espontánea de las dunas de Miramar. *Dirección de Agricultura, Ganadería e Industria*, 14 pp.

CABRERA, A. 1945. Apuntes sobre la vegetación del Partido de Pellegrini. Contribución al estudio de la estepa de gramíneas del oeste de Buenos Aires (R.A). Publicaciones Técnicas DAGI. Tomo II N 1. Bs. As. 98 pp.

CABRERA, A. L., 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. 2º edición, tomo II, ACME (ed.), 85 pp.

CANO, E. Y C. MOVIA, 1967. Utilidad de la fotointerpretación en la cartografía de comunidades vegetales del bosque de Caldén (*Prosopis caldenia* Burk.). La Vegetación de la República Argentina 8. INTA, Bs.As, 44 pp.

CELSI C., y MONSERRAT, A. 2008. La vegetación dunícola en el frente costero de la Pampa Austral. (Partido de Dorrego, Buenos Aires). *MULTEQUINA* 17: 73-92. ISSN 0327-9375.

CELSI C.E. Y A.L. MONSERRAT. 2008a. Vascular plants, coastal dunes between Pehuen-có and Monte Hermoso, Buenos Aires, Argentina. *Check List* 4(1):37-46.

CEVALLOS, F. 1996. Mares de arena de sombra de montaña: Comparación entre un sistema fósil (Miembro E Palque) y un sistema actual (Desierto Médanos Grandes). Trabajo final de Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan.

CHUVIECO, E. 2002. Teledetección ambiental. Ed. Ariel S.A., Barcelona

COOKE, R., WARREN, A., GOUDIE, A., 1993. *Desert Geomorphology*. UCL Press, London. 526 p.

COOKE, R, WARREN, A. 1973. *Geomorphology in Deserts*. London, B. T. Batsford, Ltd.

CORDAZZO C.V. y U. SEELIGER. 1993. Zoned Habitats of Southern Brazilian Coastal Foredunes. *Journal of Coastal Research*. 9(2):317-323.

COSTA S, CORDAZZO, V., SEELIGER, U.. 1996. Shore disturbance and dune plant distribution. *Journal of Coastal research*. 12.1.133-140.

DAGET et POISSONET, 1969. Análisis fitológico de praderas. Aplicaciones agronómicas. Documento de extensión CIEPP 1975. Universidad de Chile. Departamento de Producción Animal. Centro de Investigaciones y Producción praterense. Documento N 48. Centro Nacional de Investigación Científica. Centro de Estudios Fitosociológicos y Ecológicos. BP 1018. Montpellier.

DALMASSO, A., HORNO, M., CANDIA, R. 1988. Utilización de especies nativas en la fijación de médanos. *Erosión: Sistemas de Producción, Manejo y Conservación del suelo y agua*. 221-290

DE FINA, A. 1992. Aptitud Agroclimática de Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Buenos Aires.

DEMARTINI, O. 1971. Prospección geoelectrica en el paraje Difunta Correa. San Juan. Plan Agua Subterránea.

DOING, H. 1985. Coastal fore-dune zonation and successions in various parts of the World. *Vegetatio* 61, 65-75.

ENNOS, A.R. 1997. Wind as an ecological factor. *Trends in Ecology and Evolution*, 12, 108–111.

ESKUCHE, U., 1973. Pflanzengesellschaften der Küstendünen von Argentinien, Uruguay und Südbrasilien. *Vegetatio* 28.

ESKUCHE, 1992. La vegetación de las dunas marítimas de América Latina: *BOSQUE* 13 (1): 23-28. Valdivia.

ESKUCHE, U., 1992. Sinopsis cenosistemática preliminar de los pajonales mesófilos semi-naturales del nordeste de la Argentina, incluyendo pajonales pampeanos y puntanos. *Phytocoenologia* 21 (3): 237-312.

FEARNEHOUGH, W., FULLEN, M.A., MITCHELL, D.J., TRUEMAN, I.C., ZHANG, J. 1998. Aeolian deposition and its effect on soil and vegetation changes on stabilised desert dunes in northern China. *Geomorphology*, 23 (2-4), pp. 171-182.

FELICISIMO, A. 1997. Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>

FONTANA, S. L. 2004. Present and Past Coastal Dune Environments of South Buenos Aires Province, Argentina. *Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*. 940.38 pp. Uppsala.

FRENGUELLI J., CABRERA, A. 1939. Viaje a la Gobernación de La Pampa. Extracto de la Revista del Museo de La Plata. (Nueva Serie) Sección Oficial. 70-91. Bs. As.

FROHLICH, R.K. Y PARKE, C.D. 1989. Electrical Resistivity of the Vadose Zone. *Ground water*. Vol. 27. Núm. 4. 524- 530 p.

FRYBERGER, S.G. 1979. Dune forms and wind regime. En: McKee E.D. (Ed): *A Study of Global Sand Seas*. U.S. Geological Survey. Prof. Pap. 1052, 137-139.

FRYBERGER, S., AL-SARI A., CLISHAM T. RIZVI S , AL-HINAI, K. 1984. Wind sedimentation in the Jafurah sand sea, Saudi Arabia. *Sedimentology*, Vol. 31, 413-431.

GANDULLO, R., J. GASTIAZORO y A. BÜNZI, 1998. Dinamismo de la vegetación psamófila de Senilllosa y Plottier. Provincia de Neuquén (Argentina). *Multequina* 7:11-20.

GISPERT-FOLCH ,J.R. 2005. Definición del volumen de suelo húmedo (VSH) en microirrigación mediante la resistividad eléctrica: aplicación al estudio del porcentaje de VSH en el comportamiento del manzano (*Malus domestica* Borkhi). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol. VII. F.J. Samper Calvete y A. Paz González, 75-80.

GONZALEZ LOYARTE M., MARTINEZ CARRETERO, E., ROIG, F.A., 1990. Forest of *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa* (Leguminosae) in the NE of Mendoza. I. Structure and Dynamism in the Area of the "Telteca Natural Reserve". *Documents Phytosociologiques*, n.s. 12: 285–289.

GONZALEZ LOYARTE, M., RODEGHI ERO, A., BUK, E. Y S. TRIONE. 2000. Análisis comparativo de dos comunidades en el bosque de *Prosopis flexuosa* del NE de Mendoza. Argentina. *Multequina* 9: 75-89.

GONZÁLEZ LOYARTE, M., 2003. Relaciones entre granulometría, comunidades vegetales y procesos hídricos y eólicos en un piedemonte de los Andes centrales de Argentina. *Ecología Austral* 13 (1): 27-48

GUTIERREZ ELORZA, M. 2001. *Geomorfología Climática*. Ediciones Omega. 640 pp.

GUTIERREZ-ELORZA, M., DESIR, G., GUTIERREZ-SANTOLALLA, F. 2002. Yardangs in the semiarid central sector of the Ebro depression (NE Spain). *Geomorphology* 44:155–170.

HESP, P., MCLACHLAN, A., 2000. Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia* and *Gazania rigens* nabkha dunes. *Journal of Arid Environments* 44, 155–172.

HESSE, P.P., SIMPSON, R.L. 2006. Variable vegetation cover and episodic sand movement on longitudinal desert sand dunes. *Geomorphology*, 81 (3-4), pp. 276-291.

HOLTZ S.C. 1995. Relación entre la geomorfología, la vegetación y los suelos en las dunas costeras de Mar Chiquita. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata. 56 pp.

HUECK, K.1950. Estudio ecológico de los médanos de Cafayate (Salta). Posibilidades de su fijación. *Lilloa* XXIII: 63-115.

HUECK K. 1951. Dos problemas fitogeográficos de la cuenca de Andalgalá. (Provincia de Catamarca). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. Vol. 3.N 4 pp.

HUGENHOLTZ CH , WOLFE S, 2005. Biogeomorphic model of dunefield activation and stabilization on the northern Great Plains. *Geomorphology* 70: 53-70.

IADIZA. Estación Meteorológica El Encón (1971-1985).

IRIONDO M., KROHLING, D., 1996. Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario Superior). XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: 27-48. Buenos Aires.

JUNGERIUS P., DECKER, L. 1994. Water erosion in the dunes. *CATENA*. Volume 23, Issues 3-4, 269-279.

KEAN W., ROGERS, R. 1981. Monitoring leachate in ground water by corrected resistivity methods. *Bulletin of the association of engineering geologists*. Vol. XVIII, N 1. pp 101-107.

KIM D. YU K. B., 2008. A conceptual model of coastal dune ecology synthesizing spatial gradients of vegetation, soil and geomorphology. *Plant Ecology*. 202. 1.135-148.

KNAPP, R. 1973. *Die Vegetation von Afrika*. G. Fischer, Stuttgart. 669pp

LAMOTTE, M. 1988. Que'est ce que l'Ecology du Paysage ? *Bull. Ecol.* 19 :489-491.

LANCASTER, N., 1995. *The Geomorphology of Desert Dunes*. Routledge, London.

LANCASTER, N., 1988. Development of linear dunes in the southwestern Kalahari, southern Africa. *Journal of Arid Environments* 14: 233-244.

LANGFORD, R., 2000. Nabkha (coppice dune) fields of south-central New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments* 46: 25-41.

LE HOUEROU, H., 1990. Classification éoclimatique des zones arides (s.l.) de l'Afrique du Nord. *Ecología Mediterránea* 15 : 95-144.

LÓPEZ HIDALGO, A., 2003: "La Tomografía Eléctrica como Herramienta de Diagnostico Ambiental Subsuperficial en la Industria del Petróleo y del Gas", 5ª Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas, IAPG, Mendoza – Argentina.

LÓPEZ HIDALGO, A., 2008. Informe Inédito.

LORTIE, C., CUSHMAN, H. 2007. Effects of a directional abiotic gradient on plant community dynamics and invasion in a coastal dune system. *Journal of Ecology*. 95.468-481.

MARTINEZ CASANOVAS, J., PORTAI CASANELLAS, J. 1998. Suelo-Paisaje-Erosión. Erosión por Cárcavas y Barrancos en el Alt Penedés – Anoia (Cataluña).

Capítulo 2: Análisis morfométrico y morfográfico de geoformas em el Alt Penedés – Anoia. Tesis Doctoral, Univerditat de Lleida, Cataluña, España

MARTÍNEZ CARRETERO, E., 1985. La vegetación de la Reserva Natural Divisadero largo (Mendoza, Argentina). Documents Phytosociologiques NS 9: 25-49.

MARTÍNEZ CARRETERO, E. y ROIG, F., 1992. El paisaje en los estudios de la vegetación. Un ensayo para la Patagonia mendocina. Paroiana 7 (1-2): 165-178.

MARTÍNEZ CARRETERO E., 2001. Esquema sintaxonómico de la vegetación de regiones salinas de Argentina. Multequina 10: 67-74.

MARTÍNEZ CARRETERO, E. .2004. La Provincia Fitogeográfica de la Payunia. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Volumen 39 (3-4). 195-226.

MÉNDEZ, E., 1992. Conservación de nuestros ecosistemas naturales. I. Los médanos de Potrerillos, Lujan de Cuyo, Mendoza. Multequina 1: 19–23.

MONSERRAT, A. 2010. Evaluación del estado de conservación de dunas costeras: dos escalas de análisis de la costa pampeana. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

MORELLO, J. 1956. Estudios Botánicos en las Regiones Áridas de la Argentina. Reacciones de las plantas a los movimientos de suelos en Neuquén Extraandino. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 2, 79–152 pp.

MORELLO, J. 1958. La Provincia Fitogeográfica del Monte. Opera Lilloana. II: 1-155.

MORENO-CASASOLA, P., 1986. Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. Plant Ecology. 65(2): 67-76.

MORENO-CASASOLA, P. 2004. Las playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual. M. Caso, I. Pisanty y E. Ecurra (comp.). SEMARNAT (INE)-INECOL-Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 491-52

MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 1976. "Die ostmarok-kanischen Hochplateaus. Ein Beitrag zur Regional-forschung und zur Biogeographie eines nordafrikanischen Trockensteppenraumes", *Erlanger Geogr. Arb. Sonderband 7*: 1-185 pp.

MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 1987. The Natural Landscapes. En: F. GABRIEL (ed.), The Dubai Handbook, Ahrensburg.

MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 1988. "Zur Arealkunde der Arabischen Halbinsel", *Die Erde* 119: 65- 74.

MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 1992. Las dunas como ecosistemas: experiencias en Europa, Arabia y África. *BOSQUE* 13(1): 9-21.

MUÑOZ REINOSO, J.C., 1995. Influencia del agua freática sobre la vegetación de las áreas de descarga sobre arenas en la reserva Biológica de Doñana. *Limnética*, 11 (2): 9- 16 .Asociación Española de Limnología, Madrid. España.

NICKLING, W.G., WOLFE, S.A. 1994. The morphology and origin of Nabkhas, Region of Mopti, Mali, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 28 (1), pp. 13-30.

PANARIO D., GUTIÉRREZ O. 2005. La vegetación en la evolución de playas arenosas. El caso de la costa uruguaya. *Revista Ecosistemas* 14 (2): 150-161.

PASSERA, C.B., DALMASSO ET AL. A.D. y BORSETTO O., 1983. Método de "Point Quadrat Modificado". En: CANDIA, R. y BRAUN, R. (Eds.): Informe del Taller sobre Arbustos Forrajeros de Zonas Áridas y Semiáridas. Mendoza, Argentina: IADIZA-FAO. p. 135-151.

PELEGRINO, J. 1981. Agua superficial y subterránea en la zona de Vallecito. San Juan. Informe interno. Centro Regional de Agua Subterránea.

PERUCCA, J, PUERTAS, M., ULIARTE, E., ZAMBRANO, J. 1979. Carta geotectónica de Cuyo. Instituto de Investigaciones Geológicas. UNSJ. Boletín 4.

PYE, K. Y H. TSOAR, 1990. Aeolian Sand and San Dunes. Unwin Hyman, London.

PFADENHAUER J. 1993. Dry coastal ecosystems of temperate atlantic south america. In: Van der Maarel, E. (Ed.), *Dry Coastal Ecosystems, Part B. Ecosystems of the World*, 2B. Elsevier, Ámsterdam, 495-500.

POBLETE A. G. et. al.-1989- "Los mesoclimas de San Juan 1ra.y 2da parte ". Informe Técnico Nro.: 11 .CISAJ-CONICET. San Juan

POBLETE, A. 1999. Configuración Espacial del Clima de San Juan. Síntesis del Cuaternario de la Provincia de San Juan. CADINCUA. UNSJ.

QIAN, G, DONG Z, LUO W., WANG H. 2009. , Variations of horizontal and vertical velocities over two-dimensional transverse dunes: A wind tunnel simulation of the effect of windward slope. *Journal of Arid Environment* 73: 12.1109-1116

RAUNKJAER, C., 1905. Types Biologiques pour la Geographie Botanique. *Overs. Det. Kgl. Danke Vidensk. Selskalb Farhand* 5: 347-437.

RHOADES, J.D. 1979. Inexpensive four-electrode probe for monitoring soil salinity. *Soil Sci.Soc.Amer.J.*43. 817- 818 p.

RIVAS MARTÍNEZ, J. 1976. Sinfitosociología, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles* 33 :179-188.

ROCCA, J. A., 1969. Geología del valle del Bermejo. Provincia de San Juan. Centro Regional de Agua Subterránea. P 024. 1-100. C.R.A.S. San Juan

ROIG, F. A., G. DE MARCO & C. WUILLOUD. 1980. El límite entre las provincias fitogeográficas del Monte y de la Patagonia en las llanuras altas de San Carlos, Mendoza. Bol. Soc. Argent. Botánica 19: 331-338.

ROIG, F., GONZÁLEZ LOYARTE M., MARTÍNEZ CARRETERO E., BERRA A. Y WUILLOUD C., 1992. La travesía de Guanacache, tierra forestal. Multequina 1: 83-91.

ROMERO CASTELLANOS;L.2007. Estudio de los flujos hídricos en la dunas de Guardamar del Segura.tesis Doctoral.Universidad de Alicante.España.

RUNDEL, P., VILLAGRA, P.E., DILLON, M.O., ROIG-JUNˆ ENT, S.A., DEBANDI, G., 2007. Arid and Semi-Arid Ecosystems. In: Veblen, T.T., Young, K., Orme, A.E. (Eds.), The Physical Geography of South America. Oxford University Press, pp, pp. 158–183.

RUIZ LEAL, A., ROIG, F.,1959. Erial de vegetación en montículos. Boletín Estudios Geográficos 6 (25): 161-209.

SÁNCHEZ, V. H. 1983. Investigación Hidrogeológica en las zonas de Vallecito y Colonia 25 de Mayo - Departamento Caucete - Provincia de San Juan. Centro Regional de Agua Subterránea. Serie Técnica P -258. San Juan.

SÁNCHEZ, V. H. 1985. Investigación Hidrogeológica en el Sector Austral de la Sierra Pie de Palo - Departamento Caucete - Provincia de San Juan. Centro Regional de Agua Subterránea. Documento 153. San Juan.

SEGOVIA, O.1966.Informe de perforaciones realizadas en Vallecito. San Juan. Departamento de Hidráulica.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. Estación Meteorológica Bermejo (1941-1950) (1911-1973).

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. Estación Meteorológica Encón (1941-1950).

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. Estación Meteorológica Vallecito (1941-1950) (1910-1973).

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. Estación Meteorológica Las Chacritas (1951-1990).

SCHMIDT H.,KARNIELI A.2000. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. Journal of Arid Environments 45: 43–59

SHEA, P.F. Y LUTHIN, J.N. 1961. An investigation of the use of the fourelectrode probe for measuring soil salinity in situ. Soil Science. Vol. 92. 331- 339 p.
Urish, D.W. 1981.

SMITH, H. 1968. Eolian Geomorphology, Wind Direction, and Climatic Change in North Africa. Bedford, MA, U. S. Air Force Geophysic Research Directorate.

SOKAL, R., ROHLF, F., 1995. Biometry. W.H. Freeman and Company, New York.

STRAHLER, 1982. Geografía Física. Omega, Barcelona. 767 p.

SUVIRES, G. 1984. Geomorfología del sector suroriental de la provincia de San Juan y Edafología del Cuaternario de un sector de la planicie aluvial del río Bermejo, Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Juan.

SUVIRES, G. 1991. Paleoformas eólicas y fluviales en regiones desérticas del centro oeste de Argentina. Bamberger Geographische Schriften Bd, S. 15-133, Bamberg).

TENGBERG, A., CHEN, D., 1998. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology* 22: 181–192.

THOMAS, K, KEELER-WOLF, T FRANKLIN, J STINE, P. 2004. Mojave Desert. Ecosystem Program: Central Mojave. Vegetation Database. U.S. Geological Survey Western Ecological Research Center and Southwest Biological Science Center.

THOMAS, D, H. LEASON. 2005. Dunefield activity response to climate variability in the southwest Kalahari. *Geomorphology*. Volume 64, Issues 1-2, Pages 117-132.

THOMAS, D.S.G., KNIGHT, M., WIGGS, G.F.S. 2005. Remobilization of southern African desert dune systems by twenty-first century global warming *Nature*, 435 (7046), pp. 1218-1221.

TRICART J., KILLIAN J. 1982. La Eco-geografía y la ordenación del medio natural. Barcelona.

TRIPALDI, A., LIMARINO O., CASELLI A., NET L. I Y GAGLIARDO M. L. 1998. Sedimentología de arenas eólicas cuaternarias del área de Lomas de la Estancia, la provincia de La Rioja (Argentina): un ejemplo de sedimentación en campos eólicos intermontanos. *AAS Revista* 5(1):21-40.

TRIPALDI, A. 2002. Sedimentología y evolución del campo de dunas de Médanos Grandes (Provincia de San Juan, Argentina) *AAS Revista* (2002), vol. 9 n° 1: 65-82. ISSN 0328 1159.

TRIPALDI, A. 2010. Campos de dunas de la planicie sanrafaelina: patrones de dunas e inferencias paleoclimáticas durante el Pleistoceno tardío-Holoceno. Condiciones paleoambientales y ocupaciones humanas durante la transición Pleistoceno–holoceno y holoceno de Mendoza.

TSOAR, H., BLUMBERG, D.G., 2002. Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. *Earth Surface Processes and Landforms* 27:1147

TSOAR, H., 2005. Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A* 357: 50–56.

VAN DER MAAREL, E. 1993. Geographical and ecological types of dry coastal ecosystems. En: *Dry coastal ecosystems. Part 2A: Ecosystems of the Ecosystems of the World*. Van der Maarel, E. (Ed). Elsevier Amsterdam.

VAN DER MEULEN, F. y JUNGERIUS, P. 1989. The decision environment of dynamic dune management. En: VAN DER MEULEN, F. P.; JUNGERIUS, D. y VISSER, J. H. (Eds.). *Perspectives in coastal dune management*. The Netherlands: SPB academic, 133-140.

VICH, A. 2004. Erosión. Asociación Argentina de Geología aplicada a la Ingeniería. *Publicación Especial N4. Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodología de análisis y mapeo*. Ed. Gonzalez, My Bejerman, J. ISBN987-21766-0-42004- 84-87.

WALTER, H. y BRECKLE, S. W. 1983. *Ökologie der Erde. Band 1*. G. Fischer, Stuttgart. 743 pp

WANG, X., WANG, T., DONG, Z., LIU, X., QIAN G., 2006. Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China. *Journal of Arid Environments* 65: 129–141.

WERGER, L. 1978. Vegetation structure in the southern Kalahari. *Journal of Ecology* 66: 933-941.

WIGGS G., DAVID S., BULLARD. T, LIVINGSTONE, I. 1995. Dune mobility and vegetation cover in the Southwest Kalahari desert. *Earth Surface Processes and Landforms* 20 (6):515-529.

YIZHAQ, H., ASHKENAZY, Y, TSOAR H. 2007. Why Do Active and Stabilized Dunes Coexist under the Same Climatic Conditions? *Physical Review Letters*. 98, 188001.

ZAMBRANO, J. J., 1976. *Reseña geológico-estructural de la provincia de San Juan*. Centro Regional de Agua Subterránea. P 101. CRAS. San Juan.

ZULOAGA F.O., NICORA E.G., RÚGOLO Z.E., MORRONE O., PENSIERO J. Y A.M. CIALDELLA. 1994. *Catálogo de la Familia Poaceae en la República Argentina*. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 47:1-178.

ZULOAGA F.O. Y O. MORRONE (eds.). 1996. *Catálogo de las Plantas Vasculares de 1996. Catálogo de las Plantas Vasculares de la República Argentina*. I.

Pteridophyta, Gymnospermae y Angiospermae.(Monocotyledoneae). Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 60:1-332.

ZULOAGA F.O. Y O. MORRONE (EDS.). 1999. Catálogo de las Plantas Vasculares de la Argentina. Dicotyledoneae. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 74: 1-1246.