

Informe de Pasantía
Licenciatura en Ciencias Biológicas
Opción Ecología

**Análisis espacial de las formaciones vegetales
costeras Matorral y Bosque, de la zona El Caracol,
Departamento de Rocha, Uruguay**

María Lucía Bartesaghi

Orientador:
Dr. Marcel Achkar

Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del Territorio.
Departamento de Geografía
Laboratorio de Unidad de Ciencias de la Epigénesis

Facultad de Ciencias
Universidad de la República

2007

ÍNDICE

1	Resumen	3
2	Introducción	4
2.1	Hipótesis General	6
2.2	Objetivo General	6
2.3	Objetivos Específicos	6
3	Metodología	7
3.1	Sitio de Estudio	7
3.2	Análisis de la Distribución Espacial	8
3.3	Actividades de Campo	10
3.4	Análisis de Laboratorio	11
3.5	Análisis de datos	12
3.5.1	<i>Vegetación</i>	12
3.5.2	<i>Variables ambientales</i>	14
3.5.3	<i>Gradiente ambiental</i>	14
3.5.4	<i>Comunidades vegetales en el gradiente ambiental</i>	15
4	Resultados	16
4.1	Caracterización Física del Área y análisis de la distribución espacial	16
4.2	Estructura de las formaciones de matorral y bosque costeros	18
4.2.1	<i>Matorral</i>	18
4.2.2	<i>Bosque</i>	19
4.2.3	<i>Diversidad</i>	21
4.2.4	<i>Agrupamiento de especies - Diferenciación de Comunidades</i>	22
4.3	Variables Ambientales	23
4.4	Gradiente ambiental	26
4.5	Comunidades vegetales en el gradiente ambiental	27
5	Discusión	28
6	Conclusiones	36
7	Consideraciones finales	36
8	Agradecimientos	37
9	Bibliografía	38
	Anexos	42

1. RESUMEN

El Matorral y Bosque Costeros constituyen formaciones vegetales características del ecosistema costero de Uruguay. Éstas y otras formaciones se disponen en bandas paralelas a la costa generando una sucesión espacial océano-continente de formaciones vegetales asociadas a las características del medio físico en el que se desarrollan.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la riqueza específica, abundancia relativa y diversidad de las formaciones de Matorral y Bosque Costeros, de la zona El Caracol, y su distribución espacial desde la línea de costa hacia el continente.

En la margen Este de la Laguna Garzón, en la zona El Caracol (Rocha), se desarrolla la comunidad más representativa de Matorral Costero o espinoso psamófilo de la costa uruguaya, y un extenso Bosque Costero.

En campo se tomaron datos de vegetación (composición de especies y abundancia) y muestras superficiales de suelo en 24 parcelas dispuestas a lo largo de 3 transectas perpendiculares a la línea de costa. Las variables edáficas evaluadas fueron: materia orgánica total, nitrógeno total, humedad, sodio, conductividad, pH y granulometría. Los datos de vegetación y de variables ambientales fueron analizados a través de métodos de ordenación lineal directo e indirecto.

Estas formaciones se distribuyen de forma diferencial de acuerdo a la influencia oceánica, localizándose el Matorral más cercano a la costa y en posiciones topográficas de exposición al océano, y el Bosque en zonas de resguardo respecto al océano. El Matorral está compuesto por 4 especies arbóreas, 6 arbustivas y 4 cactáceas, mientras que el Bosque se compone de 7 especies arbóreas, 11 arbustivas, 1 parásita y 3 cactáceas. Estas comunidades presentan 12 especies comunes, aunque diferenciándose en la distribución de las abundancias relativas. Asimismo, se diferencian en las abundancias relativas de los hábitos de vida. La Diversidad es mayor en el Bosque que en el Matorral. Existe un continuo entre las formaciones de Matorral y Bosque que generan un gradiente florístico-fisonómico.

Las formaciones de Matorral y Bosque presentan una clara diferenciación en las variables ambientales a las que se encuentran asociados, que se corresponden con la existencia de un gradiente ambiental océano-continente, que se atenúa a medida que aumenta la distancia a la influencia oceánica.

El gradiente florístico-fisonómico entre las formaciones Matorral y Bosque está asociado al gradiente ambiental océano-continente.

2. INTRODUCCIÓN

En la franja costera del Uruguay existen extensas dunas y suelos que evolucionaron a partir de éstas. Estos sistemas de dunas costeras se caracterizan por gradientes geoquímicos y geomorfológicos pronunciados (Campo *et al.*, 1999). Los bosques y matorrales costeros (o psamófilos) son formaciones vegetales características del litoral del Río de la Plata y el Océano Atlántico del Uruguay que se desarrollan sobre estos suelos arenosos (Carrere, 1990) en forma de pequeños parches. Su localización geográfica restringida, la asociación de especies que lo componen y su fisonomía particular, los convierten en formaciones vegetales únicas en Uruguay (Alonso-Paz & Bassagoda, 1999).

La franja costera platense y atlántica del Uruguay se continúa en el Brasil con las comunidades vegetales de Restinga (Alonso-Paz & Bassagoda, 2003), que constituyen desde formaciones herbáceas hasta arbustivas y arbóreas, comprendidas en la faja arenosa entre una bahía o laguna y el océano, de la región geomorfológica denominada Planicie Costera de Rio Grande do Sul (Waechter, 1990).

Este ecosistema costero se encuentra sometido a drásticas modificaciones producto de actividades humanas como turismo, forestación, urbanización, incendios, minería (extracción de arena), ganadería y agricultura (Legrand, 1959; Chebataroff, 1973; Carrere, 1990; Alonso-Paz & Bassagoda, 2002), que presentan su inicio a fines del siglo XIX (Alonso-Paz & Bassagoda, 2006). Desde ese entonces, la sucesión de modificaciones que ha sufrido el paisaje costero ha fragmentado y reducido la extensión del mismo (Campo *et al.*, 1999), limitando así la vegetación original a áreas relictuales (Carrere, 1990; Delfino *et al.*, 2005).

La vegetación de la costa uruguaya constituye un mosaico de comunidades relacionadas con las características de los diversos suelos sobre los que se desarrollan. Éstos presentan claras diferenciaciones respecto al contenido de nutrientes y de agua, de acuerdo a su posición topográfica, a su material madre y el tiempo de evolución de los mismos. La vegetación se corresponde entonces a un mosaico de ambientes xerófilos, hidrófilos o mesófilos (Fagundez & Lezama, 2005; Alonso-Paz & Bassagoda, 2006). También en esas comunidades hay una disposición en bandas a lo largo de un gradiente que va de la costa al continente (Alonso-Paz & Bassagoda, 2006). De esta forma, la estructura de las formaciones vegetales definida por la riqueza específica, la abundancia de las especies, la leñosidad y la altura estaría relacionada con la disminución de la salinidad y la acción de los

vientos (Alonso-Paz & Bassagoda, 2006). En este sentido, en una trayectoria desde la playa hacia el continente se encuentra una sucesión espacial de formaciones vegetales íntimamente asociadas a las características del medio físico en el que se desarrollan. La primera es una comunidad herbácea caracterizada por plantas de gran desarrollo radicular que se comportan como pioneras e inician los procesos de estabilización de arenas y de edafización (Campo *et al.*, 1999). Posteriormente, ya sobre suelos arenosos, se desarrolla una comunidad arbustiva, Matorral, de composición florística variable y sometida a la acción de los vientos costeros, que determinan su fisonomía achaparrada y espinosa (Campo *et al.*, 1999). Por último, en la zona de lomadas costeras, se desarrolla el Bosque costero, de aspecto también achaparrado, pero que alcanza una altura mayor (Campo *et al.*, 1999). Esta zonación de la vegetación autóctona desempeña un rol de estructuración de los hábitats costeros, convirtiéndose en un agente importante en los procesos de dinámica dunar (Campo *et al.*, 1999; Delfino & Masciadri, 2005).

El Matorral espinoso costero presenta fisonomía achaparrada, de 1-2 m de altura, y está conformado por una matriz de *Colletia paradoxa* "espina de la cruz" y *Schinus engleri* "molle rastrero". Las especies arbóreas existentes presentan porte arbustivo (Alonso-Paz & Bassagoda, 2006).

Los Bosques costeros presentan un solo estrato arbóreo que varía entre 4 y 8 m de altura, acompañados de arbustos, hierbas, trepadoras y epífitas. Se ubican al resguardo entre los médanos, en macizos de 1-10 ha o en parches aislados de unas pocas decenas a centenares de metros cuadrados (Alonso-Paz & Bassagoda, 2006). Esta formación parece corresponder a una etapa estable de colonización y fijación de las dunas. Su composición de especies es semejante a la de los bosques serranos o de galería del Sur del País (Alonso-Paz & Bassagoda, 2006). Las especies características son: *Scutia buxifolia* "coronilla", *Myrsine laetevirens* "canelón", *Cereus uruguayanus*, *Lithraea brasiliensis* "aruera", *Schinus longifolius* "molle", *Zanthoxylum hyemale* "tembetarí" y *Daphnopsis racemosa* "envira" (Carrere, 1990; Fagundez & Lezama, 2005). Asimismo, la presencia de *Colletia paradoxa*, *Daphnopsis racemosa* y especies de cactáceas es de particular importancia para asegurar la supervivencia del Bosque costero, dado su rol de protección para otras especies (Carrere, 2001).

De acuerdo a lo anterior, la distribución espacial de las formaciones vegetales costeras, Matorral y Bosque, se correlaciona con un gradiente océano-continente determinado por la influencia oceánica.

2.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las diferencias en las estructuras de las formaciones vegetales costeras en la zona El Caracol, Matorral y Bosque, están asociadas a diferencias en los parámetros ambientales, producto de su distribución a lo largo de un gradiente ambiental.

2.2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la estructura de las formaciones de Matorral y Bosque Costeros de la zona El Caracol, y su distribución espacial desde la línea de costa hacia el continente.

2.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Analizar la distribución espacial de las formaciones vegetales costeras, Matorral y Bosque, de la zona El Caracol.
2. Caracterizar la estructura de las formaciones vegetales costeras, en función de la riqueza específica, abundancia relativa y diversidad.
3. Evaluar la variación de los parámetros ambientales (textura, humedad, pH, conductividad, contenido de materia orgánica y nitrógeno total) en las distintas formaciones vegetales.
4. Evaluar la existencia de un gradiente ambiental océano-continente.
5. Evaluar si la distribución de las formaciones vegetales consideradas está relacionada con un gradiente ambiental.
6. Elaborar un Sistema de Información Geográfica (SIG) de la zona El Caracol.

3. METODOLOGÍA

3.1. Sitio de estudio

El área de estudio se ubica entre las latitudes 34°44'42.15" y 34°47'07.28" S y las longitudes 54°27'56.11" y 54°32'57.71" W en la margen Este de la Laguna Garzón, Departamento de Rocha, límite con el Departamento de Maldonado. Esta zona, denominada El Caracol, incluye los balnearios El Caracol, El Bonete, Costa Bonita, Estrella del Mar, San Sebastián, Pedregal y Santa Rita (Fig. 1). La superficie comprendida por dicha zona es de 1820 ha aproximadamente y sobre ésta se desarrolla la comunidad más representativa de Matorral costero o espinoso psamófilo (con mayor número de especies por unidad de superficie y mejor conservada) de la costa uruguaya (Alonso-Paz & Bassagoda, 1999), y un extenso Bosque costero, distribuido mayormente en las márgenes de la laguna, pero que se extiende en forma de parches hacia la costa (Fig. 2).

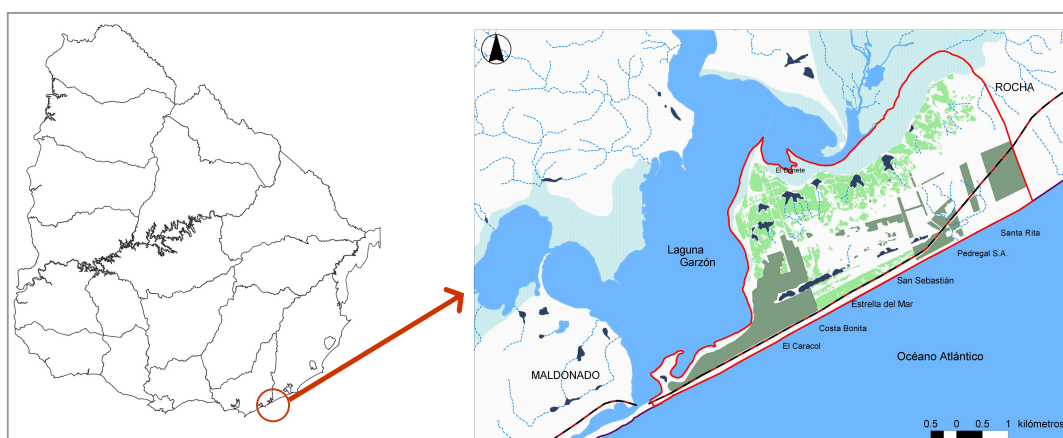


Figura 1. Localización del Sitio de estudio. Derecha: El polígono rojo indica la zona El Caracol. En verde claro se delimitan las comunidades de Matorral y Bosque Costeros.

Estos ecosistemas se encuentran amenazados por drásticas modificaciones, principalmente por la expansión del turismo no planificado, que podría incrementarse con la construcción del proyecto de un puente sobre la Laguna Garzón, ya que el mismo promovería un rápido desarrollo de estos balnearios.

Los balnearios de la zona El Caracol han sido definidos como Áreas de Prioridad para la Conservación por la Ordenanza Costera de Rocha (Decreto 12/2003) (DINOT, 2004). Asimismo, El Caracol, El Bonete y Costa Bonita se definen como Áreas Protegidas según el Decreto 527/92. Estas condiciones le otorgan a la zona

una normativa que debería guiar el desarrollo urbano-turístico y de otras actividades antrópicas, en armonía con los objetivos de conservación planteados en ambos decretos. Los mismos hacen referencia explícita a las formaciones vegetales costeras nativas en cuestión, presentando entonces una normativa que las ampara.

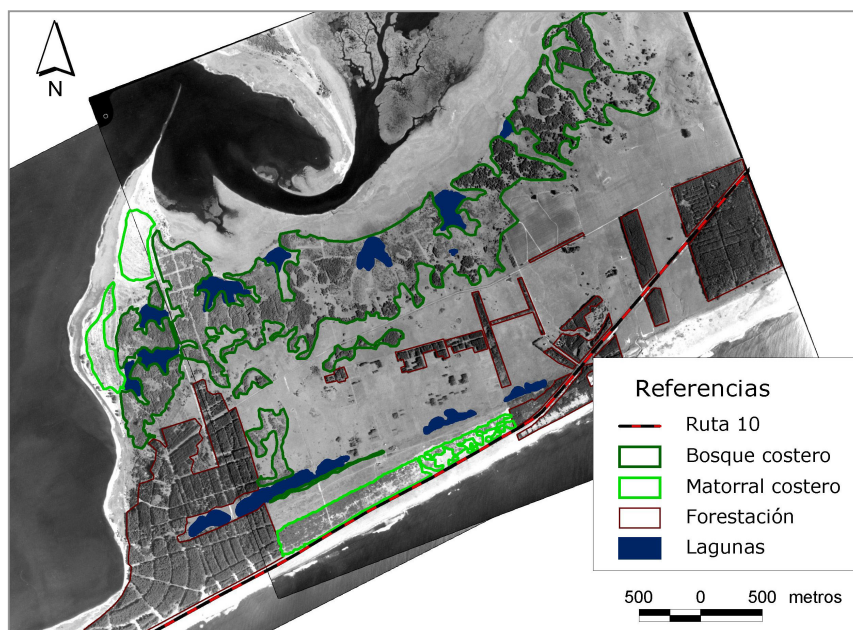


Figura 2. Distribución de las formaciones vegetales matorral (verde claro) y bosque (verde oscuro) en la Zona El Caracol (Fotografías aéreas del año 2000 SGM).

3.2. Análisis de la distribución espacial

Mediante fotointerpretación de fotos aéreas del año 2000 escala 1:20.000, proporcionadas por la Fuerza Aérea Uruguaya (FAU), se determinó la distribución espacial del Matorral y Bosque costero del área de estudio y se categorizó cada uno de los parches de acuerdo a la densidad de su cobertura vegetal. Para la lectura, análisis e interpretación de las fotografías aéreas se utilizó estereoscopio de espejos.

Se incorporaron los resultados de la fotointerpretación al software ArcView GIS 3.2 (ESRI, 1999) para la construcción de un Sistema de Información Geográfica (SIG)¹. Asimismo, se incorporó y digitalizó la cartografía de base existente (Carta Topográfica E29 del Servicio Geográfico Militar escala 1:50.000) (SGM, 1987),

¹ Los SIG son un conjunto de hardware, software, datos geográficos, personas y procedimientos; organizados para capturar, almacenar, actualizar, manejar, analizar y desplegar eficientemente rasgos de información referenciada geográficamente (NCGIA, 1990).

Carta Geológica del Uruguay (escala 1:500.000) (Facultad de Agronomía, 1998) y unidades de suelo CONEAT (escala 1:20.000) (MGAP, 1994). De esta forma se generaron coberturas de información espacial (shapefiles o layers) que, mediante su superposición, permitieron analizar la distribución espacial de las formaciones vegetales.

A partir del análisis de las fotografías aéreas se seleccionó el área que cumpliera con las condiciones necesarias para realizar el muestreo de vegetación y suelo, y mediante la utilización del software ArcView se trazaron tres transectas (T) paralelas entre si y perpendiculares a la línea de costa y 8 filas (F) paralelas a la línea de costa separadas a distancias menores cerca de la costa y a mayor distancia lejos de la misma (Fig. 3). A lo largo de cada transecta, en su intersección con las filas, se localizaron 24 puntos de muestreo (8 por transecta) (Fig. 3), y se determinaron sus coordenadas para el posterior trabajo de campo. Para localizar las transectas se analizaron también fotos aéreas de 1943 escala 1:40000 (vuelo del Trimetrogon), con el fin de comparar con las fotos actuales y evaluar las actividades antrópicas que puedan estar afectando los parámetros de interés.

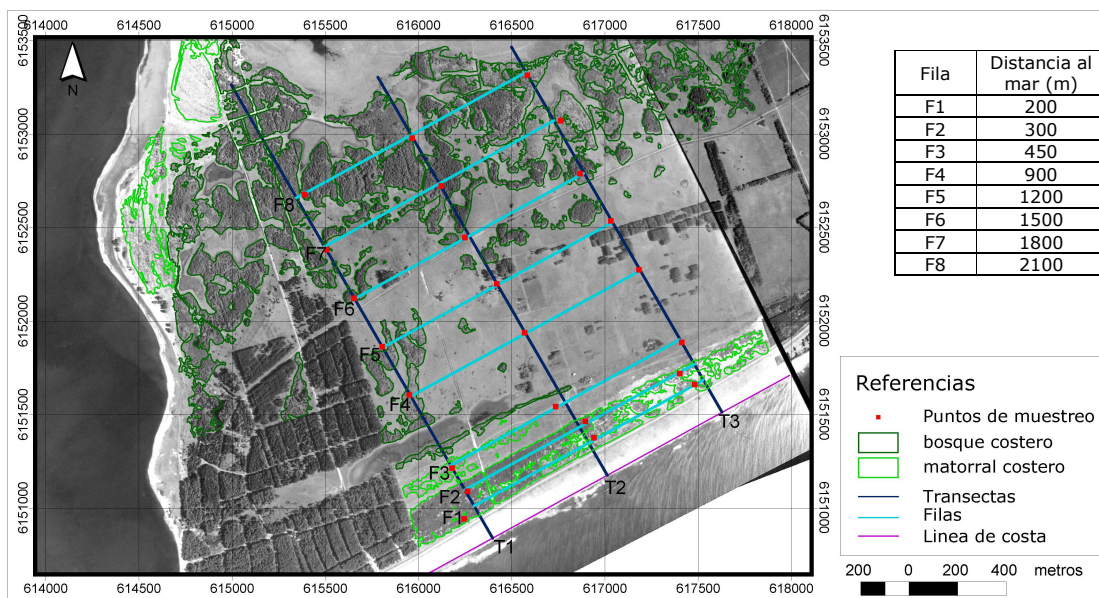


Figura 3. Localización de los 24 puntos de muestreo (puntos rojos) en las 8 filas (F) de las 3 transectas (T) y en los 3 puntos externos. A la derecha, distancias (en metros) correspondientes a cada una de las Filas.

3.3. Actividades de campo

Las actividades de campo se realizaron en las fechas 05, 06, 07 y 08/10/06. Mediante la utilización de Global Positioning System (GPS) - Garmin Legend etrex - se determinó la localización de los puntos de muestreo registrada en gabinete y se delimitaron cuadrantes de una superficie de 100 m² (10x10 m) para tomar una muestra del suelo y de las comunidades de Matorral y Bosque a lo largo de las 3 transectas. El tamaño de los cuadrantes fue definido en un muestreo piloto en el que se determinó la curva de acumulación de especies.

En cada punto de muestreo se extrajeron con pala 5 submuestras de suelo (de las esquinas y el centro) de los primeros 15 cm de profundidad, que fueron mezcladas para obtener una mezcla de suelo homogénea de cada punto de muestreo (Contreras *et al.*, 2006). Las muestras se colocaron en bolsas herméticas y conservaron a 4 °C hasta su traslado al laboratorio (Contreras *et al.*, 2006).

De los 24 puntos de muestreo en que se tomaron muestras de suelo se relevó la vegetación existente sólo en aquellos puntos que presentaban especies arbóreas, arbustivas y/o suculentas, correspondientes a las comunidades de Matorral y Bosque. Se realizaron 5 puntos de muestreo en el Matorral y 8 en el Bosque.

En cada punto de muestreo de Matorral y de Bosque se relevó la composición y abundancia de especies considerando únicamente especies arbóreas, arbustivas y suculentas. En el Matorral, dada la dificultad de discriminar individuos, se estimó la superficie ocupada por cada una de las especies, asemejando su cobertura a figuras geométricas y midiendo el área ocupada con cinta métrica. En el Bosque, se realizó el conteo de individuos por especie mayores a 0.2 m, y para los ejemplares mayores a 1.3 m de altura de las especies arbóreas se midió el diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974; Matteucci & Colma, 1982).

El reconocimiento de las especies se efectuó en el área de estudio, exceptuando casos dudosos en los que se colectaron muestras para su determinación en laboratorio mediante el uso de clave taxonómica (Brussa & Grela, *en prensa*). Todas las especies relevadas fueron colectadas e ingresadas al Herbario del Museo y Jardín Botánico "Atilio Lombardo" de la Intendencia de Montevideo.

A su vez, se realizó la corroboración de los resultados obtenidos previamente mediante fotointerpretación, y se determinaron los cambios detectados desde la fecha de la fotografía al presente, integrando la información al SIG.

3.4. Análisis de laboratorio

Los parámetros edáficos considerados fueron: humedad, pH, conductividad, contenido de materia orgánica total, nitrógeno total y sodio, que fueron analizados en el laboratorio de suelos de la Unidad de Ciencias de la Epigénesis (UNCIEP); y textura, que se determinó en la Sección Oceanología y UNCIEP.

Para determinar la humedad del suelo se halló la diferencia de peso, húmedo-seco, de las muestras de suelo. Para ello, se pesó cada muestra de suelo, obteniendo el valor de peso húmedo, y luego se colocó en estufa a 50-60 °C durante 48 hs, obteniendo así el valor de peso seco. A partir de la diferencia de peso se calculó el porcentaje de humedad de cada una de las muestras.

Luego de obtener las muestras secas, las mismas fueron molidas con molino eléctrico para realizar los siguientes análisis:

- Se midieron los valores de pH y conductividad, dispersando la muestra de suelo en agua destilada y utilizando pH-metro y conductímetro digitales (Black, 1965).
- El contenido de materia orgánica se obtuvo mediante el Método Wakley & Black (1934), basado en la oxidación de la muestra con dicromato de potasio y posterior lectura en espectrofotómetro de ultravioleta visible (Black, 1965).
- Para la determinación del contenido de nitrógeno total del suelo se aplicó el Método Kjeldal (Black, 1965).
- El contenido de sodio se midió a través de la extracción por acetato de sodio a pH 7 y posterior lectura por espectrofotómetro de absorción atómica (Black, 1965).
- Para el análisis textural (proporción relativa de arena, limo y arcilla) y granulométrico se partió de una submuestra de 60 g. La misma fue utilizada, primeramente, para determinar la proporción de arena, limo y arcilla de la muestra, mediante el Método Bouyoucus (1962) (debido a que el contenido de materia orgánica de las muestras era menor al 5%, no se procedió a la eliminación de la misma (Bouyoucus, 1962); y posteriormente, para la separación de las fracciones granulométricas mayores a 0.63 mm, mediante el método de tamizado. A través del análisis mecánico denominado Método del hidrómetro de Bouyoucus, el cual se basa en la velocidad de sedimentación de las partículas en función de la superficie por unidad de volumen, se determinaron los porcentajes de arena (entre 2 y 0.63 mm), limo (entre 0.63

y 0.002 mm) y arcilla (menor a 0.002 mm) (Bouyoucus, 1962). Luego del análisis textural se pasó la muestra en húmedo a través de un tamiz de 63 µm de diámetro de poro. Posteriormente se secó la muestra, durante 48 horas a 70 °C, y se procedió al tamizado en seco de las fracciones mayores. El tamizado de la muestra seca se realizó a través de una serie de tamices de 2000, 1000, 500, 250 y 125 µm, asegurados sobre un agitador rot up a alta velocidad durante 15 minutos (Arocena & Conde, 1999). Cada fracción fue pesada en balanza de precisión con 0.001 g de resolución. Finalmente, se ingresaron los pesos de cada una de las fracciones, 2000, 1000, 500, 250, 125 y 63 (arena), 2 (limo) y 0.2 µm (arcilla), al software ACES 1.07f, para proceder al cálculo del diámetro promedio de las partículas de cada muestra.

3.5. Análisis de datos

3.5.1. Vegetación

A partir de los datos de vegetación obtenidos en campo se caracterizó la estructura de las comunidades de Matorral y Bosque. Para ello se determinaron las Abundancias y Frecuencias Relativas (AR y FR respectivamente) de los hábitos de vida y de las especies de ambas comunidades, el Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies arbóreas del Bosque, y los valores de Equidad (Índice de Shannon) y Dominancia (Índice Simpson) de cada comunidad para evaluar su diversidad.

El Índice de Valor de Importancia (IVI) modificado de Grela (2003) para las especies arbóreas del Bosque se determinó utilizando únicamente los individuos mayores a 1.3 m de altura. El IVI combina dominancia, densidad y frecuencia, revelando la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad vegetal (Mostacedo & Fredericksen, 2000). El cálculo de la dominancia se realizó a partir de los valores de DAP obtenidos en campo, con los cuales se calculó el Área basal (Ab) de cada individuo y con ésta la dominancia (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

Dominancia Relativa

$$(D): D_i = Ab_i$$

$$DR_i = (D_i / \sum_{i=1...n} D_i) * 100$$

Donde Ab = sección del fuste a 1.3 m de altura (m²)

DR = dominancia (densidad) relativa de la especie i respecto de la dominancia total de la comunidad

i = especies de la comunidad, 1...n

Abundancia Relativa

$$(A): A_i = N_i$$
$$AR_i = (A_i / \sum_{i=1...n} A_i) * 100$$

Donde AR = abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total

N_i = número de individuos de la especie i

i = especies de la comunidad, 1...n

Frecuencia Relativa

$$(F): F_i = P_i / NP$$
$$FR_i = (F_i / \sum_{i=1...n} F_i) * 100$$

Donde FR = frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total

P_i = N. de parcelas en que aparece la especie i

NP = N. total de parcelas

i = especies de la comunidad, 1...n

Índice de Valor De Importancia

$$(IVI): IVI_i = A_i \% + D_i \% + F_i \%$$

i = especies de la comunidad, 1...n

El Índice de Shannon (1948) ($H' = -\sum p_i \ln p_i$)² es un Índice de Equidad, y expresa la uniformidad de los valores de importancia de todas las especies de la muestra. Toma valores entre cero (una sola especie) y el logaritmo de la Riqueza (S) (todas las especies están representadas por el mismo número de individuos), baja y alta equidad respectivamente (Moreno, 2001).

El índice de Simpson (1949) ($\lambda = \sum p_i^2$) se basa en la Dominancia, tomando en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia únicamente. Toma valores entre 0 y 1, baja y alta dominancia respectivamente.

El análisis estadístico de los Índices de Equidad y Dominancia se realizó mediante análisis de varianza – ANOVA - de una vía (Factor: formación vegetal). Ambas variables cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

Para analizar la diferenciación entre las dos comunidades se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP)³ de las especies, considerando los datos de AR, mediante la utilización del software *CANOCO 4.5 para Windows* (Biometris, 2003). El propósito del ACP es condensar o resumir la información contenida en una serie

² p_i es la abundancia proporcional de la especie i, número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

³ Dado que los resultados de los análisis DCA (Detrended Correspondence Analysis) realizados con los datos de especies (leñosas y suculentas) y de variables ambientales dieron como longitud de gradiente (estimador de la diversidad beta) un valor menor a 3.0 (Anexo 3.1 y Anexo 4.1, respectivamente), se realizó en ambos casos un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Lepš & Šmilauer, 2003).

de variables originales en una serie más pequeña de dimensiones compuestas o valores teóricos (factores) nuevos, con una mínima pérdida de información (Hair *et al.*, 1999) y capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos. Este análisis permitió visualizar la espacialización de las muestras y especies de acuerdo a 2 de los componentes principales obtenidos.

La matriz de datos de las especies fue normalizada mediante la división por el desvío estándar y posteriormente fueron centradas por especies (Lepš & Šmilauer, 2003).

3.5.2. Variables ambientales

Para evaluar la variación de los parámetros edáficos del área de estudio se realizó un ACP³ de las variables ambientales para analizar el agrupamiento de las muestras de acuerdo a los valores que tomaban las variables para cada una de las muestras. Para realizar el análisis, la matriz de datos de las variables ambientales fue normalizada mediante la división por el desvío estándar y posteriormente fueron centradas y estandarizadas (Lepš & Šmilauer, 2003).

Posteriormente, se separaron las muestras en tres grupos, de acuerdo a la comunidad vegetal (Matorral, Pradera, Bosque), para evaluar la variación de las variables ambientales entre las comunidades.

3.5.3. Gradiente ambiental

Se incorporó e integró al SIG la información recabada en campo y resultante de los análisis estadísticos posteriores, relacionada a la composición y estructura florística de los relictos y la heterogeneidad ambiental encontrada.

Los valores de las variables ambientales fueron ingresados al SIG e interpolados a la unidad espacial definida por las transectas utilizando el método de Krigeaje, a través de la extensión *Kriging Interpolation* del ArcView 3.2., para evaluar la existencia de un gradiente ambiental océano-continente. El krigeaje es una técnica de estimación de valores desconocidos a partir de los conocidos y de la estructura de la continuidad espacial, que proporciona el mejor estimador lineal imparcial (BLUE, en inglés, Best Linear Unbiased Estimator). De esta forma, el krigeaje consiste en efectuar una ponderación de cada valor observado (minimizando la varianza de estimación resultante), teniendo en cuenta las características geométricas del problema (Matheron, 1970).

3.5.4. Comunidades vegetales en el gradiente ambiental

Finalmente, mediante el software *CANOCO para Windows 4.5*, se realizó el Método de Ordenación Lineal RDA⁴ (Redundancy Análisis), utilizando únicamente los puntos de muestreo en los que se relevó la vegetación, para analizar de forma combinada las variables ambientales y las especies.

El RDA es un método de ordenación directo en el que se utilizan las variables ambientales para explicar la distribución de las especies (Lepš & Šmilauer, 2003). Es una forma comprimida del ACP donde los valores de las muestras se encuentran más comprimidos, definidos por una combinación lineal de las variables ambientales (Lepš & Šmilauer, 2003). De esta forma, se logró determinar la asociación entre los principales parámetros ambientales y la distribución espacial de las especies así como de las formaciones vegetales (González López-Valcárcel, 1991).

Previo a la realización del análisis se determinó la pertinencia del mismo mediante el Test de Monte Carlo (Anexo 6.2) (Lepš & Šmilauer, 2003).

Las variables edáficas utilizadas fueron: materia orgánica total, nitrógeno total, humedad, sodio, pH, arena gruesa, arena fina y arcilla, quedando fuera del análisis las variables conductividad, arena media y limo⁵.

⁴ El resultado del análisis DCCA (Detrended Canonical Correspondence Analysis), ejecutado en el Software Canoco para Windows 4.5, presentó un valor de longitud del gradiente menor a 3 (Anexo 6.1). Por tal motivo, el Método de Ordenación Lineal RDA se consideró como el más apropiado al conjunto de datos (Lepš & Šmilauer, 2003) para realizar el análisis conjunto de las variables ambientales y la composición de especies.

⁵ Las variables conductividad, arena media y limo no se consideraron en el análisis debido a que su inclusión implicaba la no pertinencia del análisis. Asimismo, la elección de las mismas se realizó considerando su comportamiento respecto a las otras variables y a sus características en toda el área de estudio. De esta forma las variables conductividad y limo se presentan correlacionadas a algunas de las variables incluidas y la arena media presenta valores similares en todos los puntos de muestreo.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización Física del Área y análisis de la distribución espacial

Las formaciones vegetales Matorral y Bosque de la zona El Caracol ocupan una superficie superior a las 290 ha, 16.2 % de la superficie total. Los parches de Matorral Costero se distribuyen tanto de forma linder a la ruta 10, frente al mar, sobre el cordón dunar, como sobre la margen este de la Laguna Garzón, ocupando una superficie total de 53 ha (2.9 %). El Bosque Costero ocupa una superficie de 242 ha (13.3 %) y se distribuye mayormente en las márgenes de la laguna, extendiéndose de forma continua a lo largo del brazo en el que desemboca el Arroyo Garzón, y en forma de parches dispersos hacia la costa atlántica (Fig. 4).

La distribución de las formaciones vegetales respecto a las formaciones geológicas de la Carta Geológica 1:500.000 corresponde, en el caso del Bosque, con la Unidad Geológica Formación Libertad, en la que se extiende en mayor medida, y con Aluviones, en menor proporción; mientras que el Matorral se extiende mayormente sobre Aluviones y en menor medida sobre la Formación Barra del Chuy (Facultad de Agronomía, 1998) (Anexo 1.1).

El Bosque se desarrolla mayormente sobre Unidades de Suelo CONEAT (Escala 1:20.000) 07.1 (Anexo 1.2.1) de características predominantemente arenosas y en menor medida sobre la 09.1 (Anexo 1.2.2) de textura areno-arcillosa, y el Matorral se desarrolla exclusivamente sobre la unidad 07.1 (MGAP, 1994).

Las dos zonas en las que se distribuye el Matorral Costero presentan un sustrato no compactado de textura arenosa, de arenas de granulometría gruesa, predominando las porciones granulométricas mayores a 0.78 mm (± 0.21 mm) de diámetro, con bajo contenido de materia orgánica ($1.4 \% \pm 0.6$) y de drenaje excesivo ($1.4 \% \pm 0.4$ de humedad). Ambas zonas se presentan con exposición directa a los vientos costeros que provienen del océano, desde el SW, S y SE. La fisonomía de los parches en las distintas localidades es bien diferente. Por un lado, los parches sobre la laguna se encuentran dispersos y dispuestos como manchas en una matriz de herbáceas psamófilas, mientras que los parches distribuidos paralelamente a la costa presentan distintas situaciones, desde densas masas de vegetación de bajo porte y de muy difícil acceso, hasta arbustos dispersos y de menor porte en la

matriz de arenas sueltas con escasa o nula presencia de herbáceas (Fig. 4; Tabla 1).

El Bosque Costero se presenta en forma de parches heterogéneos, en cuanto a tamaño y densidad (Fig. 4; Tabla 1), composición y fisonomía, que se distribuyen en una matriz de ambientes heterogéneos que involucra pequeñas lagunas y humedales, praderas naturales y ambientes antrópicos. La mayor superficie de Bosque se localiza en la ladera NW de las lomadas costeras de poco más de 20 m de altura, donde la influencia de los vientos provenientes del océano es atenuada. El sustrato en el que se desarrollan es de textura franco-arenosa con un promedio de granulometrías de $58 \mu\text{m}$ ($\pm 10 \mu\text{m}$) con un contenido de materia orgánica de $3.1 \% \pm 0.8 \%$ y un contenido de humedad de $14.5 \% (\pm 1.3 \%)$.

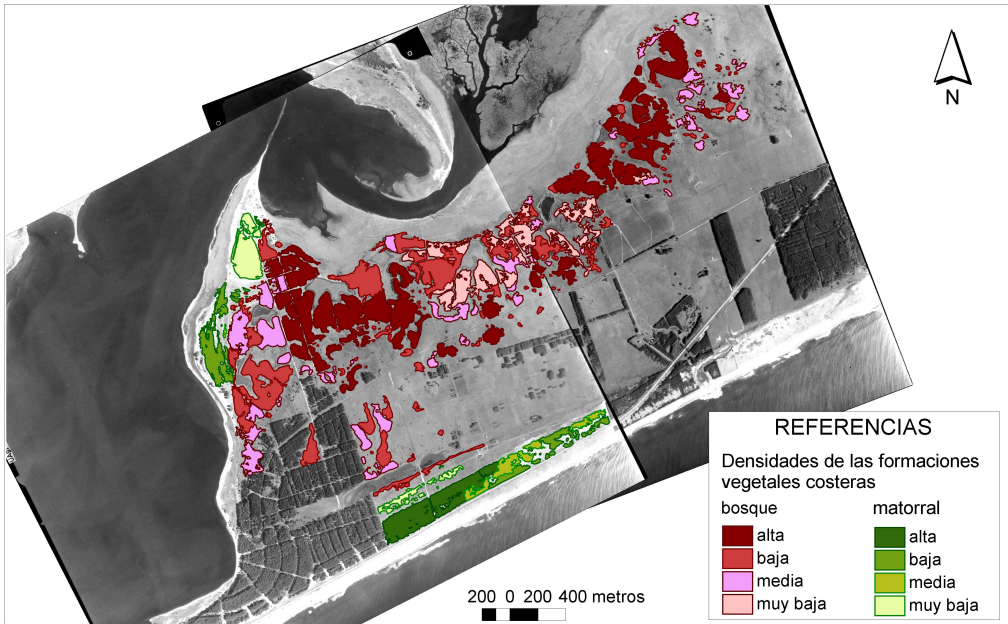


Figura 4. Mapa de distribución de las formaciones vegetales nativas de Matorral y Bosque Costeros, de acuerdo a las clasificaciones de densidad consideradas.

Tabla 1. Distribución de densidades de las formaciones de Matorral y Bosque (estimados mediante fotointerpretación).

formación	Densidad	Superficie (hás)	%*
TOTAL		294.2	100
MATORRAL	Total	52.7	18
	Muy baja densidad	12.5	23.7
	Baja densidad	15.9	30.2
	Media densidad	7	13.3
	Alta densidad	17.3	32.8
BOSQUE	total	241.5	82
	Muy baja densidad	29.8	12.3
	Baja densidad	65.8	27.3
	Media densidad	45.7	18.9
	Alta densidad	100.2	41.5

*Los porcentajes para las categorías de cada formación se realizaron en base a la superficie total de cada formación.

4.2. Estructura de las formaciones de Matorral y Bosque costeros

4.2.1. Matorral

La riqueza específica (S) del Matorral Costero es de 14 especies correspondientes a 9 familias. De las 14 especies, 4 corresponden al hábito de vida arbóreo, 6 al arbustivo y 4 especies al suculento (Anexo 2).

Únicamente dos de las especies presentes en el matorral no se encuentran en el Bosque, *Parodia scopa* (cactus) y *Senna corymbosa* (rama negra).

La superficie ocupada por cobertura vegetal en el Matorral fue del 60 %. La especie que presentó mayor AR es espina de la cruz (*Colletia paradoxa*) que representa el 69 % de la superficie ocupada por vegetación, seguida por molle rastrero (*Schinus engleri*) que representa el 18 % de la superficie (Fig. 5). Ambas especies presentaron una frecuencia de 100 %, siendo las únicas especies que se encontraron presentes en todos los puntos de muestreo.

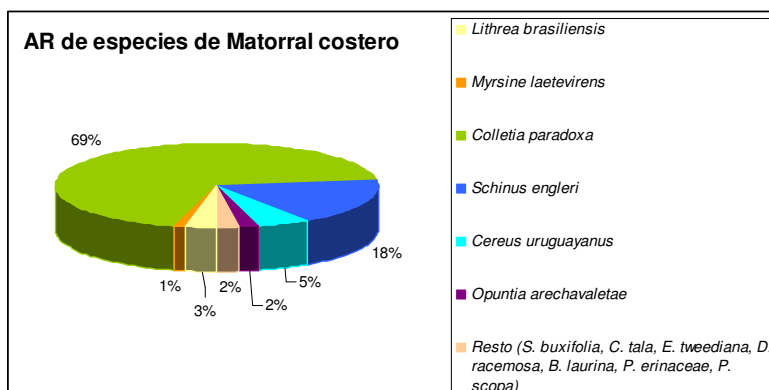


Figura 5. Abundancias Relativas de las especies del Matorral Costero. En la categoría *Resto* están agrupadas todas las especies que su AR representó menos del 1 %.

El hábito de vida predominante en el Matorral es el arbustivo, alcanzando el 87 % de la superficie vegetada, seguido por el suculento (8 %) y por último el arbóreo (5 %) (Fig. 6).

Cabe destacar la presencia de la especie exótica *Acacia longifolia* que se presentó con una frecuencia de 20 % (presente en un solo punto de muestreo). Asimismo, se constató la presencia de *Pinus sp.* en algunas zonas del Matorral, aunque la misma no fue registrada en ninguno de los puntos de muestreo.

4.2.2. Bosque

La riqueza específica del Bosque es de 22 especies, correspondientes a 15 familias. De las 22 especies, 7 corresponden al hábito de vida arbóreo, 11 al arbustivo, 3 al suculento y 1 al parásito (Anexo 2).

Doce de las especies del Bosque se encuentran presentes en el Matorral, presentándose las restantes diez únicamente en el Bosque.

Los hábitos de vida arbóreo y arbustivo son similares en cuanto a la AR, encontrándose el arbustivo de forma más abundante (~51 %) que el arbóreo (~48 %), mientras que el hábito suculento presenta una AR de aproximadamente 1%, y el hábito parásito se encuentra en muy baja proporción (0.4 %) (Fig. 6).

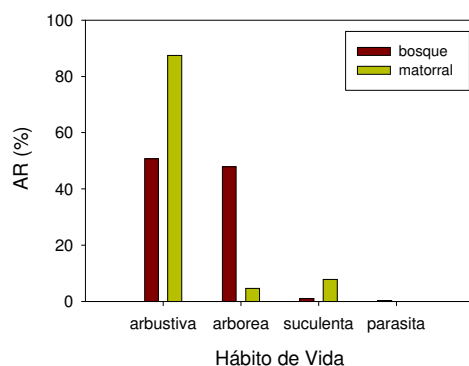


Figura 6. Abundancia Relativa (AR) de los hábitos de vida del Matorral y Bosque Costero.

Especies arbustivas y suculentas

La distribución de las abundancias (número de individuos) de las especies arbustivas y suculentas muestra a la envira (*Daphnopsis racemosa*), espina de la cruz (*Colletia paradoxa*) y espina amarilla (*Berberis laurina*) con abundancias muy superiores al resto de las especies (Fig. 7), que juntas alcanzan el 92% de la Abundancia total. A su vez, la espina de la cruz y la envira fueron encontradas en todos los puntos de muestreo, frecuencia de 100%; seguidas de la espina amarilla con una frecuencia de 87%. Las AR de las especies suculentas no presentaron valores considerables en la comunidad de Bosque.

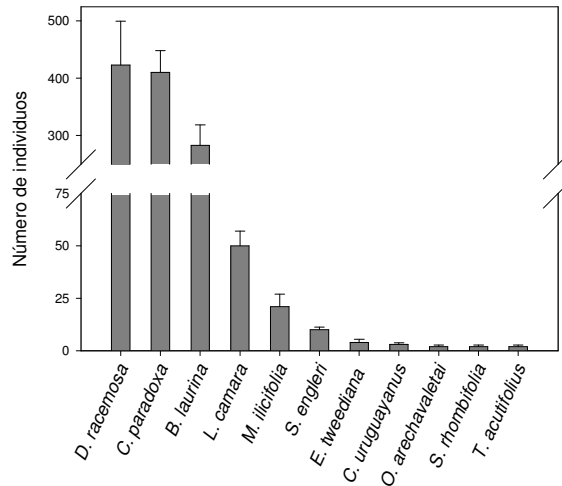


Figura 7. Número de individuos (abundancia) de las Especies arbustivas y suculentas del Bosque (se incluye la especie de hábito parásito).

Especies Arbóreas

Los árboles menores a 1.3 m de altura constituyen el 66 % del total de los individuos de especies de hábito arbóreo, siendo palo de hierro (*Myrrhinium atropurpureum* var. *Octandrum*) la especie con mayor AR (Fig. 8. A), con un 68 %. De los individuos mayores a 1.3 m de altura, el palo de hierro es también la especie más abundante (Fig. 8. B), con una AR 32 % seguida por el coronilla (*Scutia buxifolia*) con 23 %.

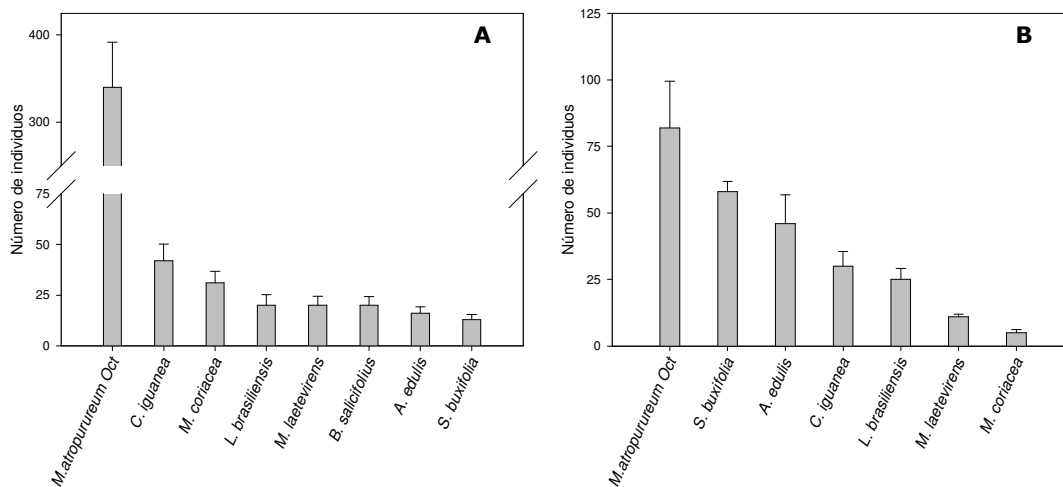


Figura 8. Número de individuos de las especies arbóreas del Bosque. **A)** Menores a 1.3 m de altura; **B)** mayores a 1.3 m de altura.

Sin embargo, al integrar en el IVI la DR, la AR y la FR de los individuos mayores a 1.3 m de altura, la especie que presenta el valor más alto es el coronilla (33 %), seguida por el chal chal (*Allophylus edulis*) (16 %) y el palo de fierro (15.5 %) (Fig. 9). Lo cual implica que el coronilla es la especie que realiza un mayor aporte a la biomasa del Bosque.

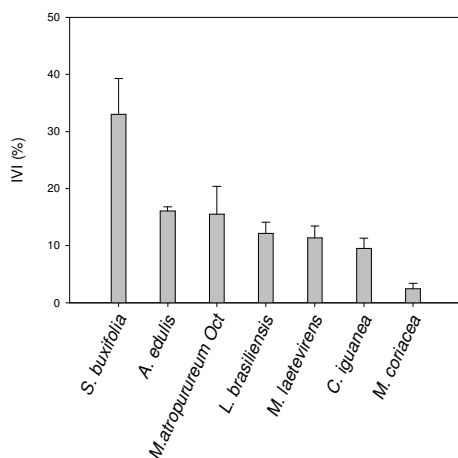


Figura 9. Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies arbóreas del Bosque. Se consideran solo los individuos mayores a 1.3 m de altura.

4.2.3. Diversidad

Los Índices de Equidad y Dominancia, Shannon y Simpson respectivamente, muestran una clara diferenciación de estructura y composición de ambas comunidades. El Bosque y el Matorral presentan diferencias significativas tanto en el Índice de Equidad ($F = 8.972$; $p = 0.012$) como en el Índice de Dominancia ($F = 6.383$; $p = 0.028$). El Bosque es la formación con mayor Equidad y menor Dominancia, y el Matorral la menos Equitativa y de mayor Dominancia (Fig. 10).

En el Matorral el Índice de Equidad de Shannon fue 1.1 ($\ln S = 2.64$), mientras que el índice de Dominancia de Simpson fue 0.5. En el Matorral, el valor más bajo de Dominancia (0.31) fue registrado en la zona más densa y mejor conservada (T1F2), mientras que el más alto (>0.9) en el punto de muestreo ubicado en una zona de muy baja densidad (T3F2).

El índice de Equidad de Shannon del Bosque (global) es 2.10 ($\ln S = 2.94$), constituyendo un alto valor de Equidad, mientras que el Índice de Dominancia de

Simpson es de 0.16, constituyendo por tanto un bajo valor de Dominancia. Los valores de Dominancia más bajos (<0.20) se registraron en los puntos de muestreo ubicados en los parches más extensos y de mayor densidad (T2F8), y los más altos (>0.5) en aquellos parches más pequeños y aislados (T1F5).

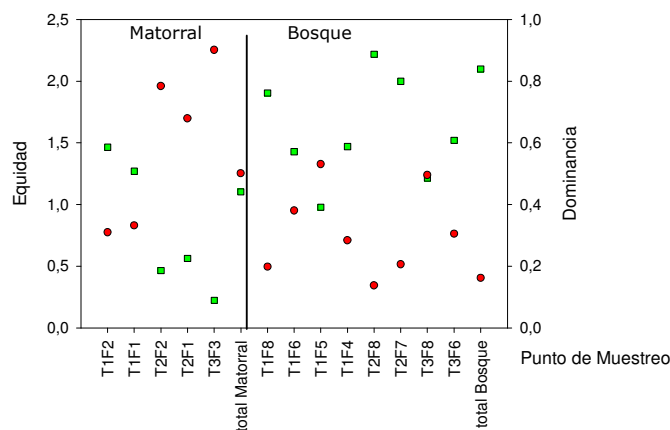


Figura 10. Índice de Equidad de Shannon (Verde) e Índice de Dominancia de Simpson (Rojo) para cada punto de muestreo realizado en la comunidad de Matorral y Bosque y los valores globales para cada comunidad (Total Matorral y Bosque).

4.2.4. Agrupamiento de Especies – Diferenciación de Comunidades

Los dos primeros componentes principales del ACP considerados describen el 83.2 % de la varianza. El resultado del ACP (Anexo 3.2) generó tres grandes agrupamientos de especies (Fig. 11). Por un lado, se agrupan las especies exclusivas del Matorral y aquellas compartidas con el Bosque pero que sus AR son mayores en el Matorral (**Grupo A**). Por otro lado, las especies que se presentan exclusivamente en el Bosque y aquellas cuyas AR en el Matorral son muy bajas (**Grupo B**). Por último, se destaca la espacialización de *C. paradoxa* que se presenta con FR y AR altas en el Matorral y en el Bosque, así como la de *E. tweediana* que se presenta con muy baja FR y AR en ambas comunidades (**Grupo C**).

En la espacialización de los puntos de muestreo (Fig. 11), se observa un conjunto correspondiente a Matorral asociado al **Grupo A**, un segundo conjunto correspondiente a Bosque asociado al **Grupo B**, y por último un conjunto de puntos de muestreo tanto de Bosque como de Matorral correlacionado con el **Grupo C**.

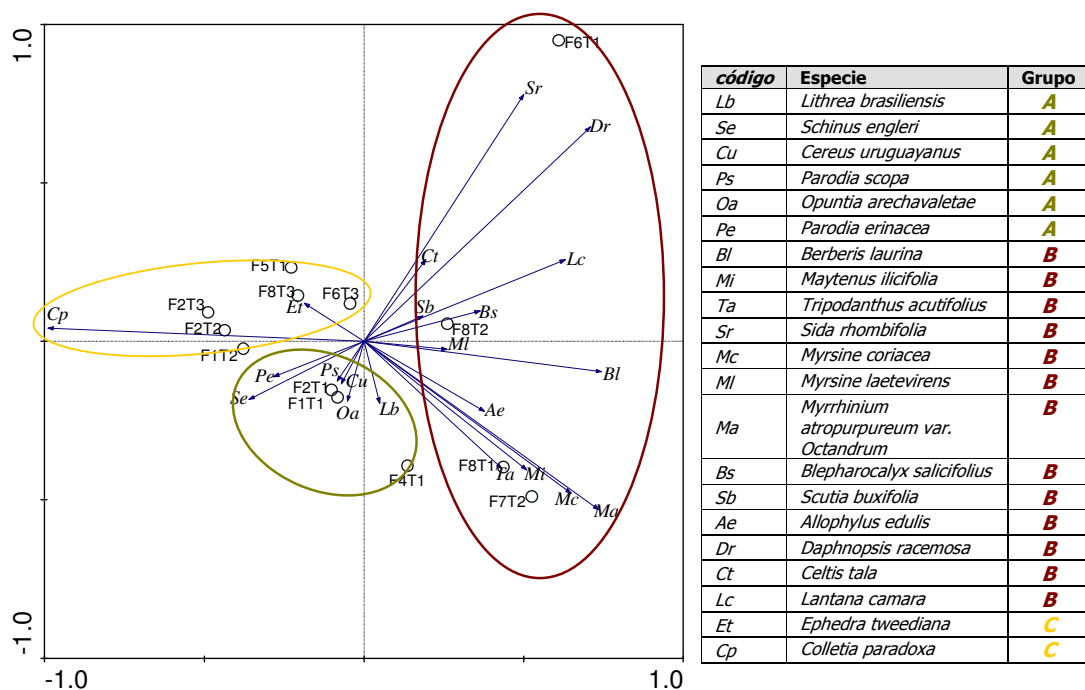


Figura 11. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las especies muestreadas en el Matorral y Bosque. La longitud de las flechas indican la correlación entre las especies y cada uno de los ejes, así como con las muestras (círculos). Los códigos de las muestras con F (Filas) y T (Transectas) indican su posición de acuerdo al diseño de muestreo (Ver Fig. 3). Los círculos indican los grandes agrupamientos de especies identificados (Verde: Grupo A; Rojo: Grupo B; Amarillo: Grupo C). En la Tabla de la izquierda se indican las especies correspondientes a los códigos del gráfico y el grupo al que están asociados.

4.3. Variables Ambientales

A través del ACP de las Variables Ambientales (Anexo 4.1) se generaron dos nuevos componentes principales que explican el 81.5 % de la varianza. Los dos componentes principales generan tres grupos de variables ambientales (Fig. 12). Por un lado, un grupo de variables correlacionado positivamente, conformado por arcilla, limo, arena fina, sodio, conductividad, materia orgánica y humedad (Grupo I), por otro lado, un grupo constituido por arena gruesa y pH (Grupo II) que se correlacionan positivamente y negativamente con el grupo anterior, y por último la variable arena media (Grupo III) de forma aislada y cuya disposición perpendicular a los dos grupos anteriores indica independencia respecto a las restantes variables.

Respondiendo a los dos componentes principales generados, las muestras se espacializan en dos agrupamientos que reflejan su mayor correlación con las variables ambientales que presentan mayor peso en cada componente (Fig. 12). Por un lado, un grupo conformado por las muestras de las filas más cercanas al océano, F 1, 2 y 3, que se correlacionan positivamente con las variables Arena

media, arena fina y pH, y por otro lado, un segundo grupo compuesto por las siguientes 5 filas más alejadas del océano (F 4, 5, 6, 7 y 8) que se correlacionan positivamente con las variables del Grupo I.

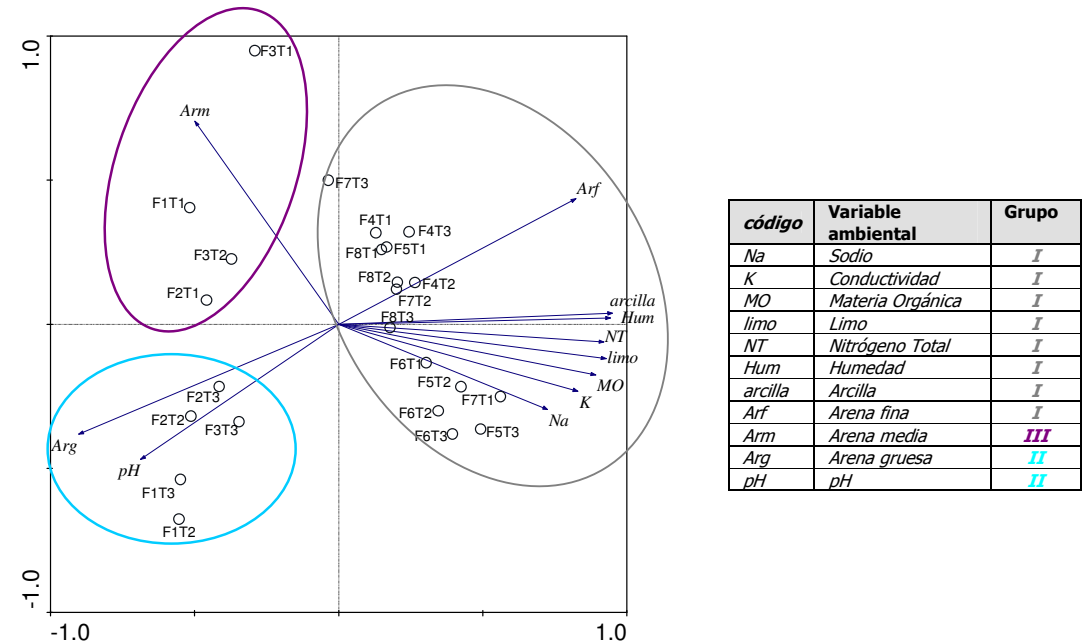


Figura 12. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables ambientales. La longitud de las flechas indican la correlación entre las variables y cada uno de los ejes, así como con las muestras (círculos). Los códigos de las muestras con F (Filas) y T (Transectas) indican su posición de acuerdo al diseño de muestreo (Ver Fig. 3). Los círculos indican los grandes agrupamientos de especies identificados (Gris: Grupo I; Celeste: Grupo II; Violeta: Grupo III).

Al agrupar los puntos de muestreo de acuerdo a la comunidad vegetal (Matorral, Pradera, Bosque) algunas de las variables ambientales mostraron importantes diferencias entre los puntos de Matorral respecto de los de Pradera y Bosque; no así entre los puntos de la Pradera y del Bosque (Fig. 13).

Las variables que presentan diferencias considerables entre los puntos del Matorral respecto a los de la Pradera y Bosque son la textura, arena gruesa, arena fina, limo, arcilla, humedad, contenido de materia orgánica total, conductividad y nitrógeno total. El contenido de sodio del Matorral difiere con el de la Pradera pero se asemeja con el del Bosque.

Las variables pH y arena media, se presentan con valores similares en las tres comunidades vegetales.

Por otro lado, las diferencias entre la Pradera y el Bosque en las variables edáficas son marcadas únicamente a nivel de contenido de humedad.

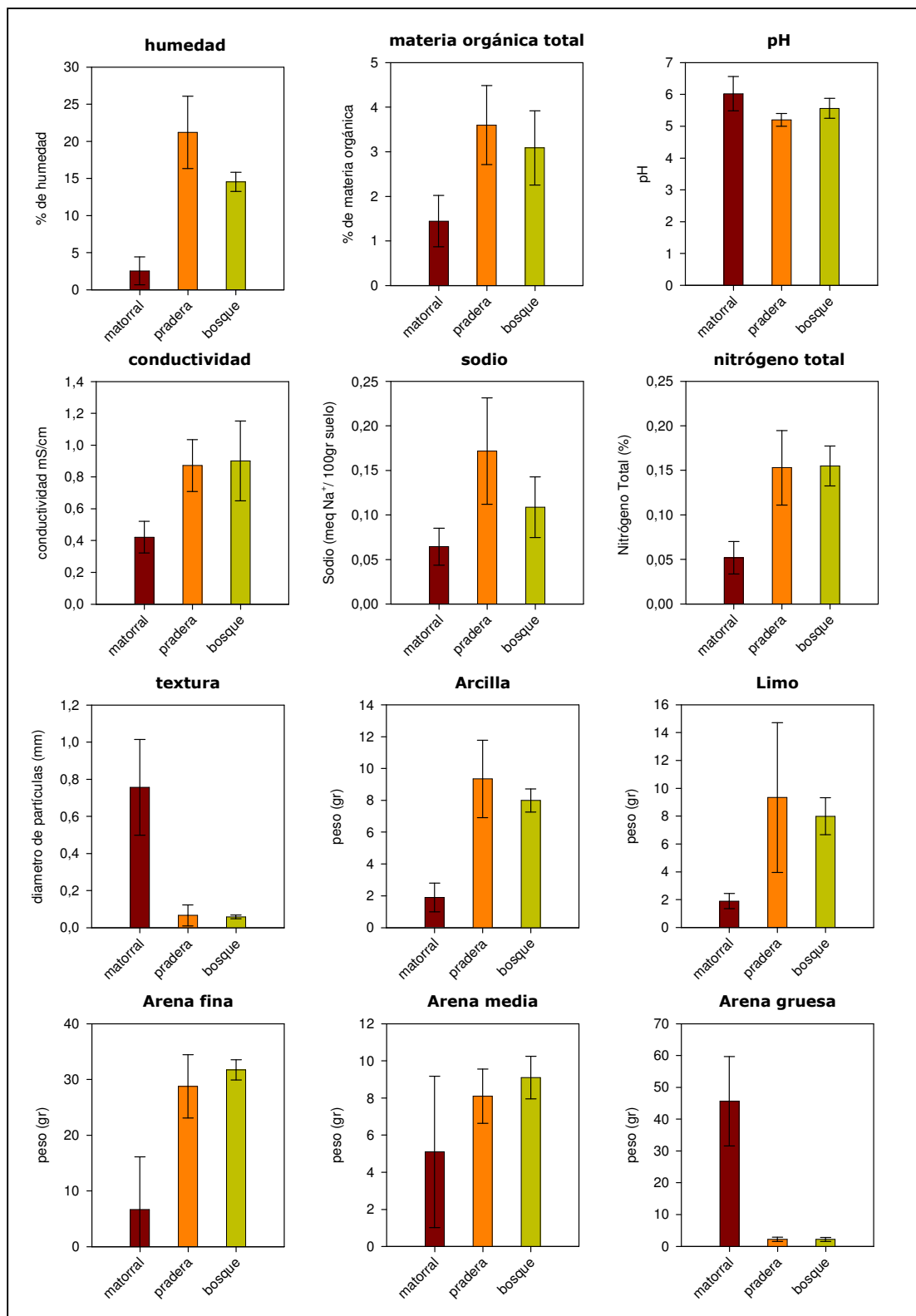


Figura 13. Variables ambientales por comunidad vegetal (Matorral, Pradera y Bosque).

Los resultados de las variables ambientales generaron dos grandes grupos de suelos bien diferenciados, los suelos de Matorral y los de Pradera y Bosque. Las características de los suelos de Matorral son de texturas gruesas (arenosa), menor contenido de materia orgánica, nitrógeno total, sodio y humedad, pH débilmente ácido y baja conductividad. Las características de los suelos de Pradera y Bosque son de textura franco-arenosa, mayor contenido de materia orgánica, nitrógeno total y humedad, baja conductividad y bajo contenido de sodio y pH ácido.

4.4. Gradiente ambiental

La interpolación de las variables ambientales mediante el método de Kriging Interpolation, acompaña las características mencionadas, presentándose una clara diferenciación entre el Matorral y Pradera y Bosque (Anexo 5). Dicha diferenciación se manifiesta en forma de un gradiente pronunciado en 8 de las variables (humedad, materia orgánica, nitrógeno total, conductividad, sodio, arcilla, limo y pH) que va desde la F1 hacia las filas centrales, y desde éstas hacia la F8 el gradiente se invierte pero de forma más atenuada (Fig. 14, A y B). Las variables arena fina y arena gruesa presentan un patrón de gradiente continuo desde la costa hacia el continente (Fig. 14, C y E) y la arena media presenta un pequeño gradiente en las primeras filas y luego los valores son más o menos homogéneos a lo largo de las transectas (Fig. 14, D).

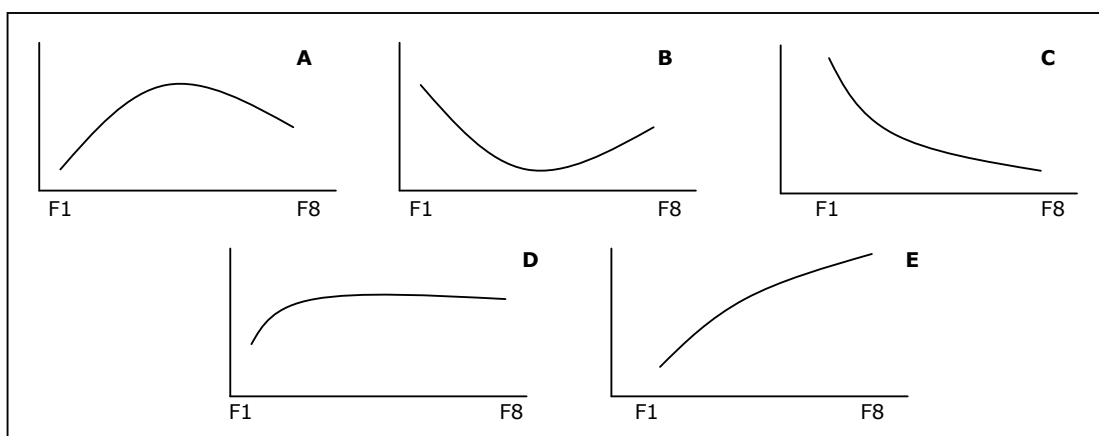


Figura 14. Esquema del comportamiento de las variables desde la fila más cercana al océano, F1, a la más distante, F8, elaborado a partir de los resultados de la interpolación (Anexo 5). A) comportamiento de las variables humedad, materia orgánica, nitrógeno total, conductividad, sodio, arcilla y limo; B) comportamiento de la variable pH; C) comportamiento de la variable arena gruesa; D) comportamiento de la variable arena media; E) comportamiento de la variable arena fina.

4.5. Comunidades vegetales en el Gradiente ambiental

El resultado del RDA (Fig. 15; Anexo 6.3) se presenta en el mismo sentido que los ACP realizados (Fig. 11 y Fig. 12), identificándose las mismas asociaciones de especies y de variables ambientales. Los Grupos A y C de especies, se encuentran correlacionados positivamente con las variables arena gruesa y pH, y se vinculan a las muestras de Matorral. Las especies del Grupo B, asociadas al Bosque, se correlacionan con las variables materia orgánica, sodio, arcilla, humedad, nitrógeno total y arena fina, las cuales incrementaban sus valores en las formaciones Bosque y Pradera.

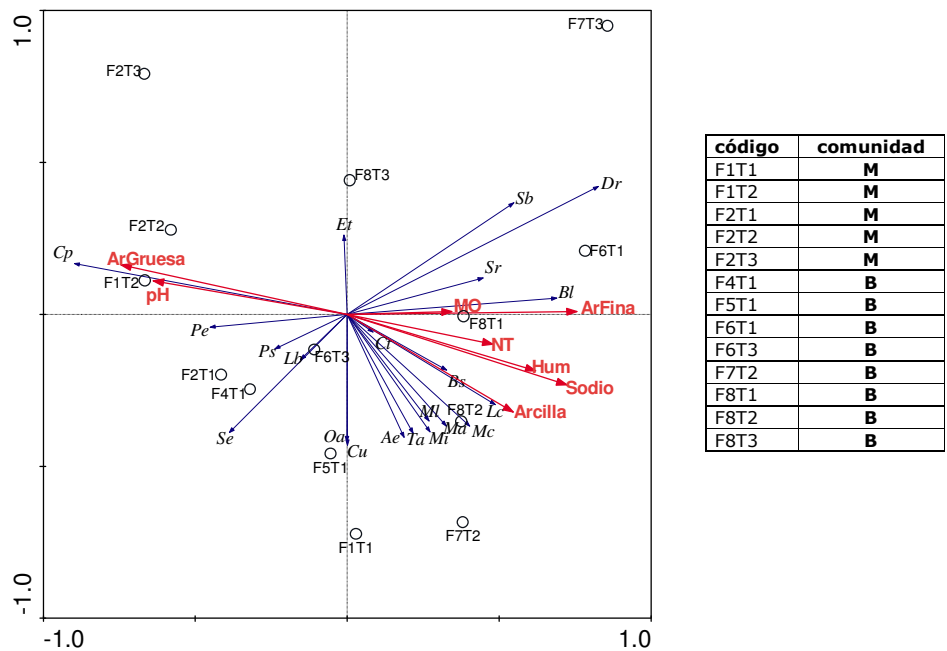


Figura 15. Gráfico de especies y variables ambientales en el espacio de los dos componentes principales obtenidos a través de RDA (Redundancy Analysis), realizado con Canoco para Windows 4.5. Con flechas rojas se representan las variables ambientales; con flechas azules se representan las especies y con círculos los puntos de muestreo. La tabla indica a qué comunidad vegetal (M: Matorral y B: bosque) corresponde cada punto de muestreo representado en el gráfico.

5. DISCUSIÓN

Distribución Espacial

El Matorral Costero se localiza en zonas de mayor desprotección, en posiciones topográficas expuestas a los vientos costeros. Su mayor desarrollo, formando densos parches de vegetación, se da en la zona paralela a la costa, más cercana al océano. En la margen de la laguna, el Matorral está conformado por parches pequeños de baja densidad y aislados, con una distribución en bandas paralelas a la costa de la laguna. Esta distribución en bandas puede estar asociada a un microrrelieve resultante de sucesivas paleo-flechas arenosas, así como a los regímenes de inundaciones o de incremento de la napa freática que afectan el desarrollo del matorral en las microdepresiones.

El Bosque Costero se distribuye predominantemente a sotavento, en la ladera N de la lomada costera, lo que lo localiza en una posición de refugio a los vientos costeros (del S) a los que está expuesto el Matorral. Por tanto, el desarrollo de la comunidad de Bosque con especies arbóreas de mayor porte está asociado a la topografía, ubicándose en zonas donde no reciben la influencia directa de los vientos costeros. Se localiza sobre pequeñas y suaves lomadas, entorno a pequeños espejos y cursos de agua. Los pequeños parches de Bosque que se extienden sobre la lomada costera, cercanos a la costa y expuestos a los vientos del S, son de baja densidad y menor altura.

Estructura de la comunidad de Matorral y Bosque

La composición específica del Matorral es similar a la del Bosque. Casi la totalidad de las especies del Matorral (86 %) se encuentran en el Bosque, presentando éste 55 % de sus especies en común con el Matorral. Sin embargo, las AR de las especies comunes a ambas comunidades son diferentes, generando distintas estructuras comunitarias, permitiendo entonces la categorización en dos comunidades.

Las proporciones de las AR de los hábitos de vida arbóreo, arbustivo y suculento constituyen una importante diferenciación entre la comunidad de Matorral y de Bosque.

En el Matorral, existe predominio del hábito arbustivo de bajo porte, seguido por el suculento y finalmente por el arbóreo. La dominancia del hábito arbustivo, integrado principalmente por especies espinosas, acompañado por el hábito suculento, también espinoso, le otorga al Matorral el aspecto espinoso y la fisonomía achaparrada.

La estructura de la comunidad de Matorral está dada principalmente por *C. paradoxa* que es claramente dominante, dado por su AR y FR. La elevada abundancia y frecuencia de *C. paradoxa* sugiere que podría desempeñar un papel de especie nodriza para la organización de la comunidad (Campo *et al.*, 1999).

En el Bosque, el hábito arbustivo y el arbóreo se encuentran en similar proporción, mientras que el suculento se presenta con muy baja AR. Estas proporciones le dan al Bosque la apariencia achaparrada, ya que está condicionado por el bajo porte de las especies arbustivas que constituyen el 50 % de las especies.

De las especies arbustivas, *D. racemosa* y *C. paradoxa* se destacan en la comunidad por su alta frecuencia y abundancia, lo cual podría deberse a que no son consumidas por el ganado (Carrere, 2001). De esta forma, estas especies arbustivas son las principales responsables de la apariencia achaparrada del Bosque. Asimismo, *C. paradoxa* es una de las especies más importante en cuanto a su contribución con la característica espinosa del Bosque. Por otro lado, las características que las convierten en plantas no palatables para el ganado le otorgan un importante rol en el Bosque, actuando como protectoras para las plántulas de otras especies (Carrere, 2001).

C. paradoxa se presenta entonces en ambas comunidades con alta AR, desempeñando un importante rol ecológico, como nodriza, en el desarrollo de las comunidades de Matorral y Bosque Costeros.

Respecto a las especies arbóreas, el número de individuos menores a 1.3 m de altura alcanza aproximadamente el doble que el de los mayores a dicha altura. Esto podría estar indicando la existencia de regeneración de especies arbóreas bajo régimen fustal. Entre los individuos menores a 1.3 m de altura, la especie más abundante es *M. atropurpureum* var. *Octandrum* (68 %), mientras que las AR de las restantes especies son similares, por lo tanto, la regeneración no está dada por igual en todas las especies.

Entre los individuos del grupo de altura superior a 1.3 m, *M. atropurpureum* var. *Octandrum* también se presenta como la especie más abundante (32 %), aunque

con un predominio no tan marcado como para el grupo anterior, apareciendo *S. buxifolia* como otra especie con alta AR (23 %).

Al considerar la AR, FR y DR de cada especie, se destaca la presencia de la especie arbórea *S. buxifolia*, que presenta la tercera parte del IVI de la comunidad, revelando la importancia ecológica relativa de esta especie en la estructuración del Bosque. En el resto de las especies arbóreas el IVI se distribuye homogéneamente, con excepción de *M. coriacea* que presenta un valor muy bajo respecto a las anteriores.

S. buxifolia presenta situaciones opuestas entre los dos grupos de alturas, mientras que entre los individuos superiores a 1.3 m de altura es la especie de mayor importancia, entre los individuos menores a dicha altura constituye la especie con menor AR. Esta diferencia estaría indicando que dicha especie no está presentando regeneración fustal. Esto puede deberse a que es una de las especies arbóreas de las etapas sucesionales iniciales, y que por lo tanto en la etapa sucesional avanzada, *Bosque*, ya no se presentan individuos juveniles.

Respecto a los valores globales de Diversidad, Equidad y Dominancia, las comunidades mostraron diferencias significativas. El Bosque presentó valores más altos de Equidad y más bajos de Dominancia que el Matorral. Sin embargo, los valores puntuales de Equidad y Dominancia de los puntos de muestreo presentaron situaciones dispares, observándose en algunos puntos de muestreo situaciones inversas a los valores globales de Matorral y Bosque.

En el Matorral, los valores más altos de Equidad y los más bajos de Dominancia se observaron en las matas no muy fragmentadas y con densidad de vegetación más alta.

En el Bosque, los valores más altos de Equidad y los más bajos de Dominancia se registraron en los puntos de muestreo ubicados en parches más grandes y más conservados, con menos influencia de actividades antrópicas. Mientras que en los puntos en los que se observó la situación contraria corresponden a parches pequeños y/o con registro de actividad antrópica (Ej.: tala y ganadería).

Estos patrones de los valores de Equidad y Dominancia de acuerdo al tamaño y grado de perturbación de los parches, se corresponden con lo esperado según lo expuesto por Meffe *et al.* (1997). En este sentido, los parches más extensos y mejor conservados presentan mayor diversidad que los más pequeños y con mayor presencia de actividades antrópicas (Meffe *et al.*, 1997).

Agrupamiento de especies

La ordenación de los datos biológicos a través del ACP mostró tres grandes grupos de especies, uno más asociado a las muestras de Matorral, otro al Bosque y un tercero en el que la importancia de las especies es similar en ambas formaciones.

Si bien aparecen dos grupos de muestras claramente diferenciados en cuanto a composición y estructura, un tercer grupo de muestras aparece como un estado intermedio entre la comunidad de Matorral y Bosque.

Por tanto, a pesar de la diferenciación observada a nivel de AR de especies y hábitos de vida que implican la existencia de dos comunidades distintas, al considerar los resultados del ACP aparecen situaciones intermedias a las dos comunidades. Esto podría indicar la existencia de un continuo entre el Matorral y el Bosque.

La existencia de continuos entre comunidades vegetales en contraposición a unidades discretas ha sido señalada por Gleason y Whittaker (Mathema, 2005). Este continuo es atribuido a que las comunidades se componen de ensamblajes de especies que responden individualmente a un gradiente ambiental dado (Gleason, 1926; Gauch, 1994; Schwilk & Ackerly, 2005). De esta forma, las abundancias de las especies se ajustan a su óptimo en el gradiente ambiental (Mathema, 2005). Asimismo, la transición de la composición específica y de abundancias entre comunidades depende de la forma del gradiente ambiental, de tal forma que en gradientes ambientales pronunciados los límites de las comunidades vegetales también serán bruscos (Gleason, 1926). En este sentido, en el área de estudio, las formaciones vegetales acompañan unidades paisajísticas concretas que definen un gradiente ambiental pronunciado, conduciendo a una definición a priori de dos formaciones diferenciadas.

Si bien se puede decir que las formaciones son diferentes, existe una heterogeneidad tal al interior de las mismas que genera un gradiente florístico-fisonómico entre el Matorral y el Bosque, en el que existen situaciones intermedias en cuanto a fisonomía, composición, riqueza específica y AR de especies y de hábitos de vida. Este continuo podría corresponder a un proceso sucesional, en el que cada uno de los grupos identificados se asocia con un estadio en dicho proceso.

Variables ambientales

Los agrupamientos de las variables ambientales mostraron un patrón esperable dado que guardan relación a las características que acompañan los distintos tipos de suelos. Por un lado, aparecen fuertemente correlacionadas las variables materia orgánica, nitrógeno total, humedad, arcilla, limo y arena fina, que se corresponden con los suelos desarrollados, las que se correlacionan también con las variables sodio y conductividad. Por otro lado, arena gruesa y pH, cuyos altos valores se corresponden con las características de suelos poco desarrollados.

Cada grupo de variables se presentó mayormente correlacionada a un determinado grupo de muestras, señalando que las muestras que los componen presentan características de suelos con distinto desarrollo. De esta forma es que las muestras más cercanas al océano (F 1, 2 y 3) presentaron características de suelos poco desarrollados, mientras que las más lejanas (F 4, 5, 6, 7 y 8) de suelos con mayor tiempo de evolución.

Por otro lado, cabe mencionar que estos dos grandes grupos de suelos presentan distinto material madre y factores asociados, que determinan una evolución diferente, que puede ser independiente del tiempo de coevolución sustrato-vegetación.

Relación entre las variables ambientales y las comunidades vegetales

Las comunidades de Matorral y Bosque presentan una clara diferenciación en las variables ambientales, dado que sus especies se asocian a distintos patrones de las mismas.

De acuerdo a los resultados arrojados por los análisis de las variables edáficas, existe importante diferencia entre los suelos del Matorral y los de las otras comunidades vegetales (Pradera y Bosque), presentándose los primeros con características fundamentalmente de suelos poco desarrollados.

Las características que definen la condición de suelos arenosos poco desarrollados son: textura arenosa con bajo contenido de fracciones finas con escasa o nula cohesión y de estructura inestable granular de grano suelto, escasa humedad y baja disponibilidad de agua para las plantas, escaso contenido de materia orgánica y nitrógeno, y valores de pH débilmente ácidos (Duchaufour *et al.*, 1975).

La textura del suelo afecta al crecimiento vegetal por su influencia en el suministro de agua, dado que condiciona la velocidad de infiltración y de evaporación y la capacidad de retención de agua. La cantidad de agua a disposición de las plantas aumenta según la capacidad de los suelos de retenerla en forma asimilable para las plantas (Black, 1975), la cual es mayor en los suelos de texturas medianamente finas. Por lo tanto, los suelos con textura arenosa, como los de Matorral, van a tener menor disponibilidad de agua para las plantas que los suelos de texturas franco-arenosa, como fue observado en los resultados de contenido de humedad. Es por esto que en el Matorral, la disponibilidad de agua puede funcionar como un factor de estrés para las plantas.

El suministro de nitrógeno también se ve condicionado por la textura. Existe mayor cantidad de nitrógeno a disposición de las plantas en suelos de texturas más finas. Es por eso que las plantas que presentan independencia del nitrógeno suministrado por el suelo, dada su capacidad de desarrollar nódulos radiculares capaces de fijar nitrógeno elemental de la atmósfera, son exitosos en suelos de texturas gruesas con baja disposición de N (Black, 1975). En las fases iniciales de sucesiones primarias sobre las dunas existe alta disponibilidad de luz y los suelos son pobres en nitrógeno, y a medida que avanza el proceso se van enriqueciendo en este nutriente, paralelamente a lo cual disminuye la disponibilidad de luz (Tilman, 1982). Estas modificaciones son acompañadas por una secuencia sucesional producto de los diferentes requerimientos de las especies por el recurso (Tilman, 1982).

Cabe realizar especial mención a los valores de conductividad y de sodio del Matorral respecto a la Pradera y el Bosque, que a pesar de ubicarse más cercano a la influencia oceánica son inferiores. Este fenómeno se debe a la textura que presentan los suelos de cada comunidad vegetal. Mientras se espera que en los suelos más cercanos a la costa, donde se desarrolla el Matorral, estos parámetros se presenten con valores más altos debido a la influencia oceánica, se observa la situación opuesta. Las texturas más gruesas como las que se dan más cerca de la costa implican una mayor infiltración del agua con las sales disueltas, perdiéndose de las capas superiores del suelo. Por lo tanto, los valores de conductividad y de concentración de sodio son bajos en superficie. Esto indicaría que, al menos en los primeros centímetros del suelo, estos parámetros no representan un factor de estrés para la vegetación.

Por otro lado, el Bosque se encuentra claramente asociado a un suelo con mayor contenido de fracciones finas, de materia orgánica y de nitrógeno, así como de humedad y pH medianamente ácido, que implican mayor tiempo de coevolución sustrato-vegetación (Duchaufour *et al.*, 1975). Estas características del suelo le confieren a las especies condiciones de menor estrés a las registradas en los suelos de Matorral. Los valores de conductividad y sodio, a pesar de ser superiores a los de los suelos de Matorral, no implican una situación de estrés para las plantas (Villafañe, 2000).

Las diferencias en los valores de diversidad (Equidad y Dominancia) son reflejo de las características ambientales diferentes a las que se asocian las comunidades. Los ambientes con un menor tiempo de coevolución sustrato-vegetación presentan menor disponibilidad de nutrientes (Tilman, 1982) por lo que suelen presentarse con menor número de especies (Meffe *et al.*, 1997). Asimismo, las pocas especies se presentan como dominantes, tolerantes a las condiciones de estrés y con capacidad de modificar el medio físico en un medio más tolerable para otras especies (Connell & Slatyer, 1977).

Gradiente Ambiental

La zona de estudio, no presenta un gradiente ambiental continuo en un solo sentido costa-continente para todas las variables, sino que el mismo se presenta para la mayoría de ellas en dos sentidos, alcanzando el punto máximo/mínimo en la zona central del área de muestreo. Las únicas variables que muestran un gradiente continuo en un solo sentido son la arena gruesa y la arena fina, cuyos gradientes son opuestos. Dicho gradiente es más intenso en el tramo desde el Matorral hacia la Pradera, y se continúa más atenuadamente desde la Pradera hasta el Bosque. Por lo tanto, existe un gradiente ambiental producto de la influencia oceánica que se manifiesta en la granulometría, el cual es más intenso cuanto más cerca al océano. Dicho gradiente estaría asociado a los vientos costeros, que generan el movimiento de los granos de arena y cuya capacidad de carga disminuye a medida que el viento pierde velocidad, debido al efecto de rozamiento con la superficie terrestre, disminuyendo así el tamaño de los granos capaz de transportar.

El gradiente ambiental observado es más intenso cuanto más cerca a la costa, lo cual puede deberse ya sea a un efecto de la distancia respecto de la influencia oceánica, implicando una disminución no lineal con la distancia, o a un efecto de la heterogeneidad ambiental.

Los resultados del RDA muestran correlación positiva entre las variables arena gruesa y pH y las especies que presentan mayor AR en el Matorral o son exclusivas del mismo. Mientras que las variables materia orgánica, nitrógeno total, humedad, sodio, arcilla y arena fina se correlacionan positivamente con aquellas especies que se presentan solo en el Bosque o que su AR es mayor en el Bosque que en el Matorral. Estas correlaciones entre las variables ambientales y las especies señalan características edáficas diferentes entre la comunidad de Matorral y de Bosque, asociándose cada comunidad a distintos suelos.

Los resultados de la Interpolación y del RDA van en el mismo sentido, dado que ambos marcan la existencia de gradientes, tanto en la distribución de las AR de las especies como en las variables ambientales.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye una aproximación a las comunidades de Matorral y Bosque Costeros de la zona El Caracol, en el que se ha logrado alcanzar resultados concretos pero también se han generado numerosas interrogantes que serán necesarias abordar en estudios futuros para comprender el funcionamiento de estas comunidades costeras.

Las comunidades de Matorral y Bosque Costeros de la zona El Caracol, lejos de constituir dos comunidades totalmente diferentes con composición y estructura diferenciales, constituyen un continuo en el que existen estadíos intermedios, constituyendo un gradiente florístico-fisonómico.

Los suelos sobre los cuales se desarrolla el Matorral y el Bosque presentan una clara diferenciación, la cual está asociada a su localización geográfica y a la existencia de un gradiente ambiental. El gradiente ambiental está determinado por la influencia oceánica, que se manifiesta a nivel de la granulometría.

El contenido de sodio de los suelos costeros no guarda relación con la distancia al océano y no afecta el desarrollo de las comunidades de Matorral y Bosque.

7. CONSIDERACIONES FINALES

Son necesarios estudios detallados de estas formaciones costeras para entender su evolución y desarrollo y así poder elaborar adecuados planes de conservación para los relictos de vegetación costera. En este sentido, respecto a la regeneración de las comunidades, son necesarios estudios a largo plazo que permitan evaluar su evolución, y tenerla en consideración para plantear medidas de conservación del Matorral y Bosque Costeros. En este sentido debe ser evaluado el rol ecológico que desempeñan *C. paradoxa*, como especie nodriza en ambas comunidades, y *S. buxifolia* como especie pionera en el desarrollo del Bosque. Por otro lado, para poder evaluar completamente el gradiente ambiental, es necesario realizar el análisis de los vientos en campo, para determinar las direcciones predominantes de los vientos intensos y su relación con la orientación de las comunidades vegetales, así como su capacidad de remover sedimentos y el efecto del impacto de los

mismos sobre la vegetación. Otro factor a evaluar es el spray marino; cuál es el contenido de sales de los vientos húmedos y cómo éstos afectan al desarrollo de la vegetación.

Finalmente cabe destacar que la Ordenanza Costera de Rocha (Decreto 12/2003) prevé la elaboración de planes de ordenamiento en los balnearios para su adecuado desarrollo en armonía con los ecosistemas costeros (DINOT, 2004). Dicho Decreto hace mención a la especial consideración de las comunidades de Matorral y Bosque Costero al momento de realizar la clasificación del suelo para su utilización. Sin embargo, para que esto pueda ser llevado a cabo es necesario un conocimiento previo de dichas comunidades para que las medidas a tomar sean las adecuadas para cada situación. Por lo cual, los instrumentos jurídicos para que se realicen adecuados planes de desarrollo de estos balnearios, que contemplen las formaciones vegetales nativas costeras bajo la clasificación de suelo protegido, ya existen, solo resta su adecuada instrumentación.

8. AGRADECIMIENTOS

A mi gran compañera y amiga "La Negra" (Mariana Rios) con la que compartimos este proceso. A la Pocha (Silvana Masciadri) y Lore (Lorena Rodríguez-Gallego) que nos acompañaron, apoyaron y realizaron aportes fundamentales en todo momento.

A los vecinos de la Zona El Caracol que permitieron el ingreso a sus predios para realizar los muestreos.

A la Sección Limnología que permitió el hospedaje en la Estación Limnológica de Rocha.

A UNCIEP donde se realizaron los análisis de suelo bajo la invalorable orientación y paciencia de Yolanda González y la colaboración de Noelia Rivas, y consejos de Daniel Panario. A la Sección Oceanología que permitió realizar el análisis granulométrico, especialmente a Mario Vera. Al Museo y Jardín Botánico "Atilio Lombardo" donde fueron depositadas las muestras e identificadas algunas de las especies con la ayuda de Liliana Delfino, Carlos Brussa y Fabián Muñoz.

A Diego Lercari, por sus aportes granulométricos. A Álvaro Soutullo, Fabrizio Scarabino y Angel Segura, por sus aportes bibliográficos. A Pierre Gautreau por sus valiosos aportes y comentarios vegetativos.

A Mauro por su apoyo constante.

Y finalmente, al LDSGAT donde realicé la pasantía, especialmente a Fernando Pesce y Gabriela Fernández por sus valiosos aportes, a Marcel Achkar, por su orientación, y a los miembros del tribunal, Alejandro Brazeiro y Daniel Panario, por sus críticas, comentarios, aportes y reflexiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ACES, Versión 1.07f. *Automated Coastal Engineering System*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, P.O. Box 631 Vicksburg, Ms 39180-0631.
- Alonso Paz E. & M.J. Bassagoda, 1999. *Los Bosques y Matorrales Psamófilos en el litoral platense y atlántico del Uruguay*. Comunicaciones Botánicas del Museo de Historia Natural de Montevideo. Montevideo. N° 113: 1-12.
- Alonso Paz E. & M.J. Bassagoda, 2002. *La vegetación costera del SE uruguayo: ambientes y biodiversidad*. Museo de Historia Natural y Antropología. Montevideo. N° 5: 1-6.
- Alonso Paz E. & M.J. Bassagoda, 2003. *Relevamiento de la flora y comunidades vegetales del Cerro Verde, Rocha, Uruguay*. Comunicaciones Botánicas. Museo Nacional de Historia Natural y Antropología. Montevideo. N° 127. Vol VI.
- Alonso Paz E. & M.J. Bassagoda, 2006. *Flora y vegetación de la costa platense y atlántica uruguaya*. En: Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. Eds. Menafrá R., Rodríguez-Gallego L., Scarabino F., & D. Conde, 2006. Vida Silvestre Uruguay. Montevideo. P. 71-88.
- Arocena R. & D. Conde, 1999. *Sedimento*. En: Métodos en Ecología de Aguas Continentales. Con ejemplos de Limnología en Uruguay. Instituto de Biología. Sección Limnología. Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo. 6: 40-52.
- Biometris – Plant Research Internacional, 2003. *CANOCO para Windows Versión 4.52*.
- Black C.A., 1965. *Methods of soil analysis* V. 2. American Society of Agronomy. Madison.
- Black C.A., 1975. *Relaciones Suelo-Planta*. Tomo I. Departamento de Agronomía, Universidad del Estado de Iowa, Ames. Editorial Hemisferio Sur S.R.L. Buenos Aires. 444pp.
- Bouyoucos G., 1962. *Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils*. Agron. J. 54: 464-465.
- Brussa C. & I. Grela, *en prensa*. *Flora arbórea del Uruguay con énfasis en las especies de Rivera y Tacuarembó*. Mosca hnos, Montevideo.
- Campo J., Bacigalupe A., Costa B. & G. Pistone, 1999. *Conservación y restauración del matorral psamófilo*. Documentos de Trabajo N° 20, PROBIDES, Rocha.
- Carrere R., 1990. *Desarrollo Forestal y Medio Ambiente en el Uruguay*. 2. *El bosque natural uruguayo: caracterización general y estudios de caso*. Montevideo: CIEDUR. p. 33-38.

- Carrere R., 2001. *Monte Indígena. Mucho más que un conjunto de árboles*. Nordan-comunidad. Montevideo. 152 pp.
- Chebataroff J., 1973. *Introducción al estudio de los Ecosistemas de Bañados Salinos*. Revista Uruguaya de Geografía. Montevideo. Serie N°2: 31-41.
- Connell J.H. & R.O. Slatyer, 1977. *Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization*. Amer. Natur. 111: 1119-1144.
- Contreras D., Fuentes N. & C. Sauco, 2006. *Análisis y Determinación de la Composición del Suelo*. I.E.S. Enrique Flores. 20p. URL: http://www.ubu.es/investig/au/virtual/trabajos_06
- Darwinion, 2007. *Catálogo de Plantas Vasculares de la República Argentina II*. Instituto de Botánica Darwinion Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). URL: <http://www.darwin.edu.ar/Publicaciones/CatalogoVascII/CatalogoVascII.asp>
- Delfino L. & S. Masciadri, 2005. *Relevamiento florístico en el Cabo Polonio, Rocha, Uruguay*. IHERINGIA, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 60, n. 2, p. 119-128, jul./dez.
- Delfino L., Masciadri S. & E. Figueredo, 2005. *Registro de Sideroxylon obtusifolium (Roem. & Schult.) T.D. Penn. (Sapotaceae) en bosques psamófilos de la costa atlántica de Rocha, Uruguay*. IHERINGIA, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 60, n. 2, p. 129-133, jul./dez.
- DINOT: Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial, 2004. *Plan de Ordenamiento y Desarrollo sustentable de la Costa Atlántica del Departamento de Rocha "Ordenanza Costera"*. Texto del Decreto 12/2003 de la Junta Departamental de Rocha de setiembre de 2003. Artículos, notas y comentarios. DINOT-MVOTMA, dic. 2004. Montevideo. 72pp.
- Duchaufour P., Bonneau M., Jacquin F. & B. Souchier, 1975. *Manual de Edafología*. Toray-Masson, S.A., Barcelona. 478pp.
- ESRI: Environmental Systems Research Institute, Inc., 1999. *ArcView GIS 3.2*.
- Facultad de Agronomía, 1998. *Carta Geológica del Uruguay Escala 1:500.000 v.1.02*. Cátedra de Geología. GEO EDITORES SRL. Montevideo.
- Fagúndez C. & F. Lezama, 2005. *Distribución Espacial de la Vegetación Costera del Litoral Platense y Atlántico Uruguayo*. Informe Freplata. Sección Ecología, Facultad de Ciencias-UdelaR. Montevideo.
- FAU: Fuerza Aérea Uruguaya, 2000. *Fotografías Aéreas localidad El Caracol escala 1:20.000*. Uruguay.

- Gauch, H.G., 1994. *Multivariate Análisis in Community Ecology*. Cambridge University Press. USA. 298pp.
- Gleason H.A., 1926. *The individualistic concept of plant association*. En: *Foundations of Ecology*. Clasic Papers with comments. Eds. Real L.A. & J.H. Brown, 1991. Ecological Society of America. p. 98-117.
- González López-Valcárcel B., 1991. *Análisis multivariante. Aplicaciones en el ámbito sanitario*. Editorial SG. Barcelona. 247pp.
- Grela I.A., 2003. *Evaluación del estado sucesional de un bosque subtropical de quebradas en el norte de Uruguay*. Acta Bot. Bras. São Paulo. vol.17 no.2.
- Hair Jr. J.f., Anderson R.E., Tathman R.L. & W.C. Black, 1999. *Análisis Multivariante*. 5ª ed. Prentice Hall Iberia. Madrid. 832pp.
- Legrand C.D., 1959. *Comunidades psamófilas de la Región de Carrasco (Uruguay)*. Anales del Museo de Historia Natural 7: 1-75.
- Lepš J. & P. Šmilauer, 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. University Press Cambridge. United Kindom. 269pp.
- Mathema A.B., 2005. *Monitoring of peat bog restoration*. Thesis submitted to the International institute for geo-information science and earth observation. The Netherlands. 43pp.
- Matheron G., 1970, "*La Théorie des Variables Regionalisées et ses Applications*". Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau, Fascicule 5, Ecole de Mines de Paris. 212pp.
- Matteucci S. & A. Colma, 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. OEA, Washington. 167pp.
- Meffe G.K, Carroll C.R. & Contributors, 1997. *Principles of conservation biology*. 2nd ed. Sinauer Associates, INC. Publishers. Massachussets. 729pp.
- MGAP: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 1994. *Carta digital de Grupos CONEAT. Escala 1:20000. Dirección Nacional de Recursos Naturales Renovables*. Montevideo.
- Missouri Botanical Garden, 2007. *W3TROPICOS* URL: <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>
- Moreno C., 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Vol. 1. Manuales y Tesis SEA. Gorfi SA, Zaragoza. 84pp.
- Mostacedo B. & T.S. Fredericksen, 2000. *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz de la Sierra.
- Mueller-Dombois D. & H. Ellenberg, 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley, New York. 547pp.

- NCGIA: National Center for Geographic Information Analysis, 1990. *NCGIA Core Curriculum*. Santa Bárbara.
- Schwilk D.W. & D.D. Ackerly, 2005. *Limiting similarity and functional diversity along environmental gradients*. Ecology Letters 8: 272–281.
- SGM: Servicio Geográfico Militar, 1987. *Carta topográfica E29 1: 50.000*. Uruguay.
- Shannon C.E., 1948. *The mathematical theory of communication*. Bell System Technological Journal 27:379-423 & 623-656.
- Simpson E.H., 1949. *Measurement of diversity*. Nature 163: 688.
- StatSoft. Inc., 1998. *Statistica 6.0*. Kernel release 5.1 M. USA.
- The internacional Plant Names Index, 2007. URL: <http://www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do>
- Tilman D., 1982. *Resource Competition and Community Structure*. En: Monographs in Population biology. 17. Robert M. May. Ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 296pp.
- Villafañe R., 2000. *Calificación de los suelos por sales y dispersión por sodio y su aplicación en la evaluación de tierras*. Agronomía Tropical 50(4): 645-658
- Walkley A. & A.I. Black, 1934. *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*. Soil Sci. 37: 29-37
- Waechter J.L., 1990. *Comunidades vegetais das restingas do Rio Grande do Sul*. En: Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, 2, Águas de Lindóia, 1990. Estrutura, função e manejo. Sao Paulo, Aciesp. V.3. p. 228-48. (Publicação ACIESP n. 71-3).

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización Física del Área. Formaciones Litológicas y Formaciones Edáficas.

1.1 - Formaciones Litológicas (Fig. I)

La **Formación Libertad** está conformado por lodolitas macizas pardas friables con arena dispersa y con constante presencia de carbonatos de calcio, sedimentadas en condiciones de deslizamiento de materiales de origen eólico, en un clima de pluviosidad concentrada. Los **Aluviones** se componen de materiales sedimentarios acumulados en épocas muy recientes por los actuales cursos de agua. La **Formación Barra del Chuy** está formada por una secuencia granocreciente desde pelitas hasta areniscas gruesas.



Figura I. Formaciones Geológicas: QPi: Formación Libertad; QHa: Aluviones; NPch: Formación Barra del Chuy; MPy: Granitos sin-tectónicos. Carta Geológica del Uruguay (escala 1:500.000) (Facultad de Agronomía, 1998).

1.2 - Formaciones Edáficas (Fig. II)

1.2.1 - La Unidad CONEAT 07.1 comprende áreas litorales marítimas o continentales recubiertas con espesores variables de arenas, fijadas por vegetación psamofila. Estas arenas y los Arenosoles Ocrícos (Dunas Arenosas) asociados son de muy baja fertilidad y excesivamente drenados, aunque existen áreas deprimidas con drenaje pobre y muy pobre (a veces con pequeños espesores de turba), con vegetación hidrófila. En las proximidades de la costa, la vegetación es psamofila

mientras que en el interior, normalmente existe vegetación de pradera estival, de tapiz ordinario y algo abierto (MGAP/DGRNR).

1.2.2 - La Unidad CONEAT 09.1 corresponde a las lomadas costeras que se extienden en forma discontinua y paralela a la costa. El material madre esta constituido por sedimentos areno arcillosos de color pardo. El relieve es suavemente ondulado, con lomas aplanadas en su parte superior y con predominio de pendientes de 2 a 3% en las laderas. Los suelos predominantes corresponden a planosoles Districos Ocricos en los interfluvios aplanados y Argisoles Districos Ocricos (Praderas Pardas máximas) en las laderas. Los horizontes superiores son de textura franco arenosa color pardo grisáceo, fertilidad baja y drenaje imperfecto. La vegetación es de pradera estival (MGAP/DGRNR).



Figura II. Unidades de Suelo CONEAT (1:20.000) (MGAP, 1994).

Anexo 2. Lista de especies (arbóreas, arbustivas y suculentas) ordenadas alfabéticamente por familias (Darwinion, 2007; Missouri Botanical Garden, 2007; The internacional Plant Names Index, 2007).

Familia	Especie	Formación vegetal	Hábito	Nombre común	Id
ANACARDIACEAE	<i>Lithrea brasiliensis</i> Marchand	Matorral y Bosque	Arborea	Aruera	Lb
	<i>Schinus engleri</i> F.A. Barkley var. <i>uruguayensis</i> F.A. Barkley	Matorral y Bosque	Arbustiva	Molle rastrero	Se
BERBERIDACEAE	<i>Berberis laurina</i> Billb.	Matorral y Bosque	Arbustiva	Espina amarilla	Bl
CACTACEAE	<i>Cereus uruguayanus</i> R. Kiesling	Matorral y Bosque	Arbustiva suculenta	Cereus	Cu
	<i>Parodia scopa</i> (Spreng.) N.P. Taylor	Matorral	Hierba suculenta	Cactus	Ps
	<i>Opuntia arechavaletae</i> Speg.	Matorral y Bosque	Arbustiva suculenta	Opuntia	Oa
	<i>Parodia erinacea</i> (Haw.) N.P. Taylor	Matorral y Bosque	Hierba suculenta	Cactus	Pe
CELASTRACEAE	<i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek.	Bosque	Arbustiva o Arborea	Congorosa	Mi
EPHEDRACEAE	<i>Ephedra tweediana</i> Fisch. & C.A. Mey.	Matorral y Bosque	Arbustiva	Ephedra	Et
FABACEAE	<i>Senna corymbosa</i> (Lam.) Irwin & Barneley	Matorral	Arbustiva	Rama negra ^a	x
LORANTHACEAE	<i>Tripodanthus acutifolius</i> (Ruiz & Pav.) Tiegh.	Bosque	parásita	parásita	Ta
MALVACEAE	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Bosque	Arbustiva	Sida	Sr
MYRSINACEAE	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br.	Bosque	Arborea	Canelón	Mc
	<i>Myrsine laetevirens</i> (Mez) Arechav.	Matorral y Bosque	Arborea	Canelón	MI
MYRTACEAE	<i>Myrrhinium atropurpureum</i> Schott var. <i>Octandrum</i> Benth.	Bosque	Arborea	Palo de Fierro	Ma
	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	Bosque	Arborea	Arrayán	Bs
RHAMNACEAE	<i>Colletia paradoxa</i> (Spreng.) Escal.	Matorral y Bosque	Arbustiva	Espina de la cruz	Cp
	<i>Scutia buxifolia</i> (Reissek) Kuntze.	Matorral y Bosque	Arborea o Arbustiva	Coronilla	Sb
SAPINDACEAE	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Radlk.	Bosque	Arborea o arbustiva	Chal Chal	Ae
	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Bosque	Arbustiva	Chirca de monte*	x
SOLANACEAE	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	Bosque	Arbustiva o arborea	Tabaco del monte*	x
THYMELAEACEAE	<i>Daphnopsis racemosa</i> Griseb.	Matorral y Bosque	Arbustiva	Envira	Dr
ULMACEAE	<i>Celtis tala</i> Gillies ex Planch.	Matorral y Bosque	Arborea	Tala	Ct
VERBENACEAE	<i>Lantana camara</i> L.	Bosque	Arbustiva	Lantana	Lc

* Especies identificadas en campo, pero que no quedaron incluidas dentro de los muestreos.

^a Especies citadas para la zona (Campo et al., 1999), pero que no fueron identificadas en campo.

Anexo 3. Análisis de las especies

3.1. Detrended Correspondence Analysis (DCA) de las especies

Número de muestras: 13
Número de especies: 21
Número de ocurrencias: 123

Inercia total en los datos de especies = Suma de todos los valores de los ejes del CA = 1.49524

**** Resumen ****

Ejes	1	2	3	4
Valores de los ejes:	0.584	0.172	0.068	0.024
Longitud del gradiente:	2.687	1.498	1.247	1.243
Porcentaje acumulado de la varianza de los datos de especies:	39.0	50.5	55.1	56.7

Suma de todos los valores de los ejes: 1.495

3.2. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las especies

Número de muestras: 13
Número de especies: 21
Número de ocurrencias: 123

Suma total de los cuadrados en los datos de especies = 20644.0
Desvío estándar total en los datos de especies TAU = 8.69592
(after species centering/standardization, if in force)

**** Resumen ****

Ejes	1	2	3	4	Varianza total
Valores de los ejes	0.727	0.105	0.084	0.038	1.000
Porcentaje acumulado de la varianza de los datos de especies	72.7	83.2	91.6	95.4	

Suma de todos los valores de los ejes: 1.000

Anexo 4. Análisis de las variables ambientales

4.1. Detrended Correspondence Analysis (DCA) de las variables ambientales

Número de muestras: 24

Número de variables ambientales: 11

Número de ocurrencias: 297

Inercia total en los datos de especies = Suma de todos los valores de los ejes del CA = 0.00661

**** Resumen ****

Ejes	1	2	3	4
Valores de los ejes	0.005	0.000	0.000	0.000
Longitud del gradiente	0.202	0.100	0.073	0.064
Porcentaje acumulado de la varianza de los datos de las variables ambientales	70.6	77.3	79.4	80.2

Suma de todos los valores de los ejes: 0.007

4.2. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables ambientales

Número de muestras: 24

Número de variables ambientales: 11

Número de ocurrencias: 297

Suma total de los cuadrados en los datos de especies = 264.000

Desvío estándar total en los datos de especies TAU = 1.00000

**** Resumen ****

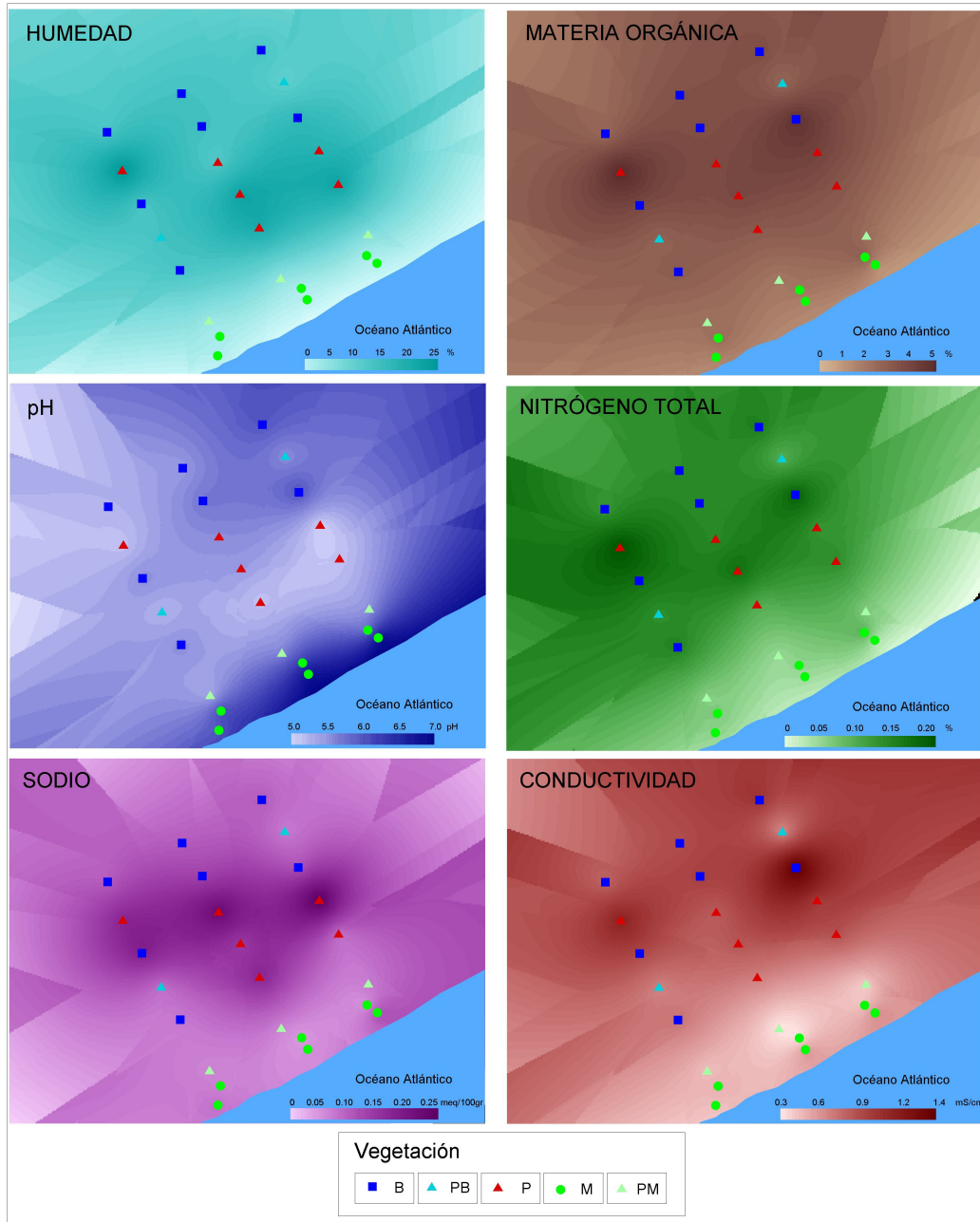
Ejes	1	2	3	4	Varianza total
Valores de los ejes	0.702	0.113	0.072	0.048	1.000
Porcentaje acumulado de la varianza de los datos de especies	70.2	81.5	88.7	93.5	

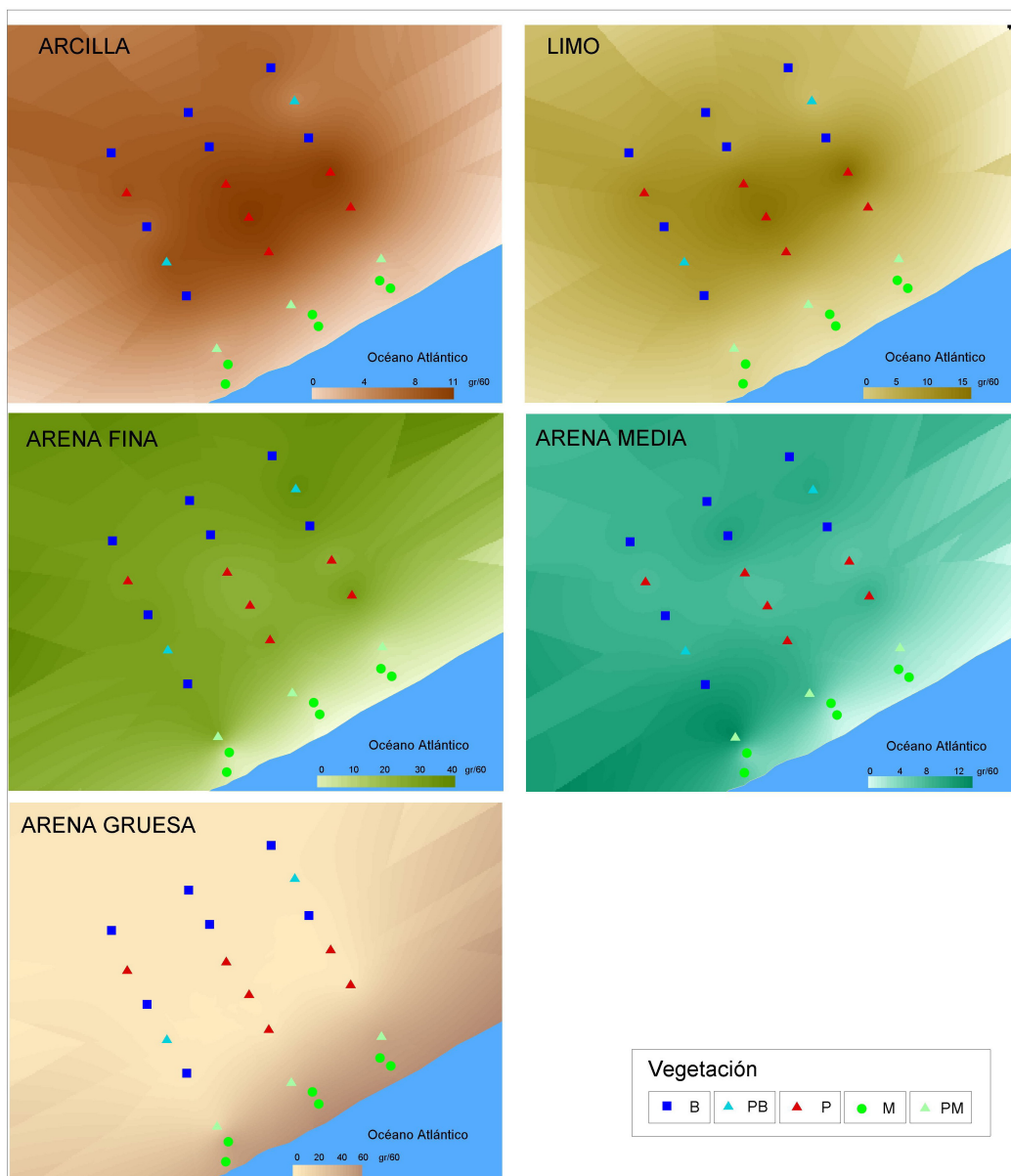
Suma de todos los valores de los ejes: 1.000

4.3. Promedios y desvíos estandar por comunidad vegetal (Matorral, Pradera y Bosque) de cada una de las variables edáficas evaluadas

Variable edáfica		Matorral	Pradera	Bosque
Humedad (%)	prom	2,554	21,228	14,546
	desvest	1,873	4,876	1,284
Materia orgánica (%)	prom	1,444	3,600	3,088
	desvest	0,577	0,888	0,834
pH	prom	6,022	5,200	5,563
	desvest	0,538	0,200	0,316
Conductividad (mS/cm)	prom	0,421	0,871	0,901
	desvest	0,100	0,163	0,251
Sodio (meq Na+/100 gr suelo)	prom	0,064	0,172	0,109
	desvest	0,021	0,060	0,034
Nitrógeno total (%)	prom	0,052	0,153	0,155
	desvest	0,018	0,042	0,022
Textura Diámetro (mm)	prom	0,757	0,066	0,059
	desvest	0,258	0,057	0,011
Arena gruesa - muy gruesa (>0,5 mm) Peso (gr)	prom	45,612	2,250	2,181
	desvest	14,036	0,667	0,646
Arena media (0,25 - 0,5 mm) Peso (gr)	prom	5,096	8,099	9,105
	desvest	4,074	1,465	1,148
Arena fina - muy fina (0,063 . 0,25 mm) Peso (gr)	prom	6,655	28,768	31,753
	desvest	9,489	5,694	1,823
Limo (63 µm – 2 µm) Peso (gr)	prom	0,742	11,542	8,968
	desvest	0,553	5,379	1,329
Arcilla (<2 µm) Peso (gr)	prom	1,895	9,342	7,993
	desvest	0,908	2,428	0,723

Anexo 5. Resultados de la aplicación del método de interpolación Kriging Interpolation para cada una de las variables ambientales analizadas. Los gradientes van desde los colores más claros (con los valores más bajos) a los más oscuros (con los valores más altos). Los símbolos indican la comunidad vegetal presente en cada punto de muestreo a partir de los cuales se realizó la interpolación (B: Bosque; PB: Transición Pradera-Bosque; P: Pradera; PM: Transición Pradera-Matorral; M: Matorral).





Anexo 6. Análisis combinado de las especies y las variables ambientales

6.1. Detrended Cnonical Correspondence Analysis (DCCA)

Número de muestras: 14

Número de especies: 21

Número de variables ambientales: 8

**** Resumen ****

Ejes	1	2	3	4
Valores de los ejes	0.547	0.140	0.076	0.023
Longitud del gradiente	2.451	1.311	1.249	1.063
Correlaciones especies-variables ambientales	0.950	0.919	0.890	0.803
Porcentaje de la varianza acumulado de los datos de especies	33.3	41.8	46.4	47.8
Porcentaje de la varianza acumulado de la relación especies-variables ambientales	40.9	57.6	0.0	0.0

Suma de todos los valores de los ejes = 1.643

Suma de todos los valores de los ejes canónicos = 1.212

6.2. Resumen del Test de Monte Carlo

(Modelo Completo, 499 permutaciones)

Test de significancia del primer eje canónico: eigenvalue = 0.623

F-ratio = 8.269

P-value = 0.0100

Test de significancia de todos los ejes canónicos: Trace = 0.801

F-ratio = 2.519

P-value = 0.0500

6.3. Redundancy Analysis (RDA)

Número de muestras: 14

Número de especies: 21

Número de ocurrencias: 123

Número de variables ambientales: 8

Suma total de los cuadrados en los datos de especies = 26516.9

Desvío estándar total en los datos de especies TAU = 9.49702

Ejes	1	2	3	4	Varianza total
Valores de los ejes	0.623	0.080	0.052	0.029	1.000
Correlaciones especies-variables ambientales	0.933	0.769	0.832	0.919	
Porcentaje de la varianza acumulado de los datos de especies	62.3	70.4	75.5	78.4	
Porcentaje de la varianza acumulado de la relación especies-variables ambientales	77.8	87.8	94.3	97.9	

**** Resumen ****

Suma de todos los valores de los ejes = 1.000

Suma de todos los valores de los ejes canónicos = 0.801

Los cuatro factores resultantes son canónicos y corresponden con los ejes que están comprimidos por las variables ambientales