



Universidad Nacional del Sur

Tesis de Doctor en Biología

**CONTROLES GEOMORFOLÓGICOS SOBRE LA PRESENCIA Y
ESTRUCTURA DE HUMEDALES COSTEROS EN EL ESTUARIO DE
BAHÍA BLANCA**

Lic. María Julia Piovan

Director de la tesis: Dra. Paula Pratolongo

BAHÍA BLANCA

BUENOS AIRES

2016

PREFACIO

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Biología, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), durante el periodo comprendido entre el 1 de abril 2010 y 10 de diciembre de 2015, bajo la dirección de la Dra. Paula Pratolongo, investigadora adjunta de CONICET. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR. Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Lic. María Julia Piovan



Universidad Nacional del Sur

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el .../.../....., mereciendo la
calificación de (.....)

A Luis Piován

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue posible gracias a la ayuda y dedicación de muchas personas. En primer lugar quiero agradecer a mi directora, la Dra. Paula Pratolongo por su paciencia y por sus consejos. Al Dr. Gerardo Perillo que fue el codirector de mi beca. A Lutz Eckstein y Tobias Donath que dirigieron la beca de la DAAD.

A la Dirección del Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia por permitirme ser alumna de la carrera de Doctor en Biología. A la Dirección del Instituto Argentino de Oceanografía por brindarme lugar de trabajo.

El desarrollo de esta tesis fue posible gracias a financiamiento del CONICET, que me otorgó las becas Tipo I y Tipo II. La DAAD financió una estadía corta de investigación que permitió obtener algunos de los datos utilizados en el desarrollo de la tesis.

A Jorge Legorguru, que permitió que trabajemos en su campo.

A todo el personal y becarios del IADO. Especialmente al Dr. Alejandro Vitale que diseñó los sensores, y a Walter D. Melo que me brindó su conocimiento.

A los que me acompañaron al campo, especialmente a Georgina, Carla e Ines.

A los que me ayudaron a preparar los ensayos de germinación, especialmente Majo, Flor, Georgina, Damián, Ines, Julia, Theresa y Jupp.

A Alejandro Loydi por ayudarme siempre que tuve dudas con estadística.

A Ana Delgado que me ayudó a realizar la descripción climática.

A Damián, a mi familia y a mis amigos que me acompañaron y alentaron durante estos años para que siguiera siempre hacia adelante.

RESUMEN

Los humedales costeros incluyen un variado espectro de ambientes que abarca desde planicies de marea no vegetadas, hasta turberas, humedales boscosos o salitrales ubicados en la transición hacia los ambientes netamente terrestres. En esta tesis se aborda el estudio de los ambientes costeros del estuario de Bahía Blanca, al sur de la Provincia de Buenos Aires, y se evalúa la presencia de humedales perimarineros. El clima de la zona es semi-árido, con períodos secos y húmedos que se alternan a lo largo de los años. Los suelos presentan salinidades elevadas y la vegetación que se desarrolla en el área está adaptada a tolerar estas condiciones de estrés.

Se describieron las asociaciones vegetales de la región costera del estuario de Bahía Blanca, analizando la presencia y cobertura de las distintas especies de plantas. Se realizó una clasificación jerárquica y conceptual de los ambientes costeros considerando la influencia de las mareas y las características de la vegetación. A partir de imágenes Landsat, cartas topográficas y relevamientos topográficos, se elaboraron los mapas geomorfológico, de condición hidrológica y de vegetación. A partir de la superposición espacial de estos mapas se realizó una caracterización hidrogeomórfica de los ambientes y se identificaron potenciales zonas de humedales. Se estudiaron las marismas de *Spartina densiflora* que se desarrollan en depresiones y se analizó cómo influyen las lluvias y la marea en su régimen de inundación. Finalmente, se estudió la respuesta germinativa de un grupo de especies de las asociaciones vegetales descriptas: *Atriplex unduata*, *Cyclolepis genistoides*, *Heterostachys ritteriana*, *Sarcocornia perennis* y *Allenrolfea patagonica*. Para estas especies se estudió el efecto de diferentes agentes osmóticos, potenciales osmóticos y temperaturas sobre los porcentajes de germinación.

A partir de los resultados obtenidos se detectaron las asociaciones costeras más representativas, se identificaron los “arbustales dominados por chañar”, “arbustales dominados por palo azul”, “arbustales dominados por *A. patagonica*”, “estepa halófila”, “marismas de *S. densiflora*”, “peladales”, “marismas de *S. perennis*”, “marismas de *S. alterniflora*” y “planicies de marea”. Esta información fue utilizada para determinar la distribución espacial de estos ambientes en el mapa de vegetación. A través de su superposición con los mapas geomorfológico y de condición hidrológica se detectó que las planicies de marea, marismas de *S. alterniflora* y *S. perennis* están en sectores inundados regularmente por la marea, mientras que algunas asociaciones localizadas en la Planicie Marina Reciente y el Paleovalle, se inundan

frecuentemente por precipitaciones y podrían considerarse humedales perimarineros. Entre ellas, se encuentran las marismas de *Spartina densiflora*, que en algunos sectores están desconectadas de la dinámica de las mareas a pesar de presentar niveles topográficos que permitirían su influencia. En cuanto a la germinación de especies halófilas, se determinó que su comportamiento está influenciado por las sales. Se observa una menor germinación a mayores concentraciones salinas y no se detectaron diferencias significativas entre el NaCl (una de las sales más abundantes en el área de estudio) y el manitol. El Na₂CO₃ ocasionó una disminución en los porcentajes de germinación. El comportamiento individual de las especies contribuyó a explicar su distribución en el campo.

ABSTRACT

Coastal wetlands comprise a wide variety of environments, from bare tidal flats to peatlands, mangroves or salt pans located in the transition to terrestrial environments. In this thesis an approach to the study of the coastal environments of Bahía Blanca's estuary is made and the presence of perimarine wetlands is assessed. The climate in the zone is semi-arid, with dry and wet periods alternating along the years. Soil salinity is high and the vegetation that grows in the area is adapted to these stress conditions. A hierarchical and conceptual classification of the coastal environments was made, considering the influence of the tides and the characteristics of the vegetation. The plant associations that grow in the area were described, analyzing the presence and cover of different plant species. Using Landsat images, topographic maps and topographic surveys, the geomorphologic, hydrologic condition and vegetation maps were made. From the spatial superposition of these maps a hydrogeomorphic classification of the environments was made and potential wetland zones were identified. *Spartina densiflora* marshes that develop in depressions were studied and the influence of rain and tides was analyzed. Finally, the germinative response of several species very well represented in the described vegetal associations was studied: *Atriplex unduata*, *Cyclolepis genistoides*, *Heterostachys ritteriana*, *Sarcocornia perennis* and *Allenrolfea patagonica*. For these species the effect over the germination percentage of different osmotic agents, osmotic potentials and temperatures was studied.

The most representative associations were detected; brushwoods of *Geoffroea decortican*, bushes of *Cyclolepis genistoides*, halophytic bushes, halophytic steppes, *Spartina densiflora* marshes, salt flats, *Spartina alterniflora* marshes *Sarcocornia perennis* marshes and mudflats were identified. These classes were used to develop the vegetation map. From the superposition of all maps it was detected that *Spartina alterniflora* marshes, *Sarcocornia perennis* marshes and mudflats, are located in places flooded by tides. Other associations located in the Recent Marine Plain and Paleovalley geomorphic units are flooded by rainfall and could be considered perimarine wetlands, as *S. densiflora* marshes that grow in depressions. Finally, germination behavior is influenced by salts. Lower germination percentages could be found at higher salt concentrations and no significant differences were detected between NaCl (one of the most

abundant salts in the study area) and mannitol. A diminution of the germination percentages was caused by Na_2CO_3 . Each species behavior contributed to explain their distribution in the field.

TABLA DE CONTENIDO

PREFACIO.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VII
Capítulo 1. Introducción general	
1.1. Definición y caracterización de humedales costeros.....	2
1.2. Humedales asociados a estuarios en Argentina.....	4
1.3. Estuario de Bahía Blanca.....	5
1.3.1. Características físicas.....	5
1.3.2. Características climáticas.....	5
1.3.3. Un paisaje costero modelado por las ingresiones marinas ocurridas durante el Holoceno.....	10
1.4. Descripción del contenido de la tesis: Hipótesis de trabajo y objetivos.....	11
Capítulo 2: Asociaciones vegetales de la región costera de Bahía Blanca	
INTRODUCCIÓN.....	14
METODOLOGÍA.....	17
<i>Caracterización de asociaciones vegetales</i>	17
<i>Muestras de suelo</i>	17
<i>Análisis estadísticos</i>	18
RESULTADOS.....	20
<i>Asociaciones vegetales</i>	20
<i>Muestras de suelo</i>	28
DISCUSIÓN.....	31

Capítulo 3: Caracterización hidrológica y geomórfica de las asociaciones vegetales de la zona costera de Bahía Blanca

INTRODUCCIÓN	37
<i>El paisaje costero de Bahía Blanca</i>	37
<i>Teledetección aplicada al estudio de humedales</i>	38
METODOLOGÍA.....	41
<i>Procesamiento de las imágenes satelitales</i>	41
<i>Mapa geomorfológico</i>	45
<i>Nivelación de los perfiles transversales</i>	46
<i>Colocación de los frentímetros</i>	47
<i>Mapa de condición hidrológica</i>	48
<i>Mapa de vegetación</i>	49
RESULTADOS.....	50
<i>Mapa geomorfológico</i>	50
<i>Mapa de condición hidrológica</i>	52
<i>Mapa de vegetación</i>	55
<i>Superposición de los mapas</i>	58
DISCUSIÓN.....	60

Capítulo 4. Caracterización de una marisma de *Spartina densiflora*

INTRODUCCIÓN.....	65
METODOLOGÍA.....	68
<i>Área de estudio</i>	68
<i>Nivelación de los perfiles transversales</i>	68
<i>Fluctuaciones en la capa superficial-subsuperficial de agua</i>	69
<i>Caracterización de la vegetación, humedad y salinidad del suelo</i>	70
RESULTADOS.....	71

<i>Nivelación de los perfiles transversales</i>	71
<i>Aumentos del nivel</i>	73
<i>Disminución del nivel</i>	74
<i>Composición</i>	75
DISCUSIÓN.....	77

Capítulo 5. Respuesta germinativa de especies halófilas de Bahía Blanca frente a diferentes potenciales osmóticos y diferentes sales

INTRODUCCIÓN.....	81
METODOLOGÍA.....	87
<i>Recolección de las semillas</i>	87
<i>Diseño experimental</i>	88
<i>Experimento número 1</i>	88
<i>Experimento número 2</i>	90
<i>Análisis estadísticos</i> ..	91
RESULTADOS.....	92
<i>Experimento número 1</i>	92
<i>Experimento número 2</i>	97
DISCUSIÓN.....	100

Capítulo 6. CONSIDERACIONES FINALES

6.1. <i>Síntesis de los resultados más relevantes</i>	104
6.2. <i>Alcances y limitaciones</i>	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

Capítulo 1:
Introducción general

Capítulo 1. Introducción General

1.1. Definición y caracterización de humedales costeros

Los humedales se caracterizan por la presencia de agua somera o suelos saturados en la zona radicular, suelos hidromórficos, biota adaptada a condiciones de saturación y, al mismo tiempo, por la ausencia de especies que no toleran la inundación (Mitsch y Gosselink, 2000). Aunque existe consenso en señalar a estas características como propias de los humedales, no siempre se logra combinar a todas ellas en una definición inequívoca. Dependiendo del objetivo con el cual se elaboran las distintas definiciones, éstas pueden estar basadas en características ecológicas o responder a reglas específicas de protección y manejo de cada país (Mitsch y Gosselink, 2000).

La identificación de humedales puede resultar particularmente difícil en zonas áridas y semi-áridas, donde muchos humedales son temporarios o efímeros. La presencia de suelos hidromórficos es una de las características más utilizadas para identificar humedales (Tiner, 1999). En ambientes sometidos a períodos prolongados de inundación o saturación, el agua ocupa gran parte del espacio poroso del suelo, generando condiciones reductoras que afectan a los procesos pedogénicos (Henderson y Patrick, 1982). Como resultado de la menor disponibilidad de oxígeno, los suelos desarrollan rasgos redoximórficos (colores grisáceos o azul-verdosos, nódulos y concreciones de hierro y manganeso). Estos rasgos son comúnmente utilizados como indicadores, ya que permiten identificar y delinear humedales aún cuando no se observe inundación en el momento en que se los visita.

Los humedales en climas áridos, sin embargo, suelen desarrollar altas salinidades en la superficie del suelo, debido a la acumulación de carbonatos, yeso y otras sales solubles. La alta salinidad, combinada con una tasa de acumulación de materia orgánica típicamente baja impide que muchos rasgos redoximórficos se expresen y dificulta aún más la identificación de humedales temporarios, intermitentes o efímeros en zonas áridas. Un criterio utilizado en estos ambientes es el propuesto por Boettinger (1997), que sugiere que la presencia de sales más solubles que el yeso en los 30 cm superficiales de suelo es indicador de suelos hídricos y que, en consecuencia, la presencia de una costra salina es un indicador suficiente para identificar humedales sujetos a saturación periódica.

En lo que se refiere a la clasificación existen diversos enfoques. El sistema propuesto por Cowardin *et al.* (1979) es la clasificación utilizada como estándar para el inventario nacional de humedales de Estados Unidos, elaborado por el U.S Fish and Wildlife Service (FWS) y ha sido empleado extensivamente en todo el mundo. En este sistema de clasificación, se agrupa a los distintos tipos de humedales en clases que responden a la apariencia general del ambiente, en términos de su vegetación dominante y tipo de sustrato. Este tipo de enfoque tiene la desventaja de que ambientes que se encuentran en la misma clase y que son, en apariencia, muy similares, pueden tener un funcionamiento ecológico completamente diferente (USDA, 2008). Un enfoque funcional es el hidrogeomórfico (HGM) que propone Brinson (1993), donde las clases y subclases de humedales están determinadas por el emplazamiento geomorfológico, la principal fuente del agua y la hidrodinámica. Las clases de mayor jerarquía están establecidas por características geomorfológicas e hidrológicas, ya que consideran que las entradas y salidas de agua regulan la función de los humedales y las características biológicas son una consecuencia de las funciones, a diferencia de otros sistemas que se basan en el tipo de vegetación o fauna. Este sistema se origina frente a la necesidad de “cuantificar cambios en las funciones ecosistémicas de los humedales debido al impacto de *proyectos de desarrollo, restauración, creación o mejora*” (Brinson *et al.*, 1994).

Los humedales costeros se desarrollan desde el límite inferior de la vegetación, en la franja intermareal, hasta el límite de influencia hidrológica del nivel del mar, en el margen terrestre (Kunz, 2009). Estos humedales comprenden una gran variedad de ambientes, que abarca tanto a las marismas, que sufren la inundación frecuente por las mareas, hasta los denominados humedales perimarineros, que se encuentran más allá de la influencia directa de las mareas, pero cuya hidrología depende de la profundidad de una capa de agua subterránea que está controlada por el nivel del mar (Gardner *et al.*, 2002; Plater y Kirby, 2006). Reconociendo la importancia del nivel del mar como determinante de la presencia de humedales de agua dulce por encima del alcance de las mareas, los geólogos holandeses (Hageman, 1969) fueron los primeros en utilizar el concepto de humedales perimarineros para hacer referencia a estos ambientes.

En zonas de clima húmedo, es común encontrar humedales perimarineros de agua dulce, tanto boscosos como dominados por herbáceas, que crecen sujetos a condiciones de anegamiento determinadas por la presencia de una capa de agua subterránea cercana a la superficie (Rodwell,

1995). En las zonas de clima árido, en cambio, la combinación de aportes escasos de agua dulce y elevadas tasas de evaporación determinan salinidades extremadamente altas en la superficie del suelo y en el agua subterránea de los ambientes perimarineros. Esto limita fuertemente el crecimiento de la vegetación, favoreciendo la presencia de comunidades de plantas halófilas y la formación de salitrales (Pratolongo *et al.*, 2009). El 23% de la superficie de América Latina y el Caribe comprende regiones semiáridas a xéricas (Verbist *et al.*, 2007), sin embargo, existen relativamente pocos estudios de los humedales costeros en estos ambientes (Bortolus *et al.*, 2009).

1.2. Humedales asociados a estuarios en Argentina

Sobre la costa templada de Sudamérica se desarrollan varios sistemas de humedales en estuarios. Se ha descrito un gradiente latitudinal en la composición de especies de estas marismas. En este gradiente resultan de gran importancia factores hidrológicos, como la amplitud de las mareas, que son mesomareales en la parte norte de la Patagonia y sus amplitudes aumentan hasta 8 metros en el sur patagónico y el norte de Tierra del fuego (Isla *et al.*, 2010), y los aportes de agua dulce, determinados por las descargas de los ríos y las precipitaciones.

Entre los paralelos 38°S y 39°S se encuentra el límite que separa dos grandes grupos de marismas (Isacch *et al.*, 2006). Hacia el norte, donde el clima es más húmedo, se desarrollan marismas bajas dominadas por *Spartina alterniflora* y a elevaciones mayores se observa *Spartina densiflora* (Cagnoni y Faggi, 1993; Costa, 1997; Costa, 2003; Iribarne *et al.*, 2005). Hacia el sur el clima se torna más árido, las marismas bajas de *S. alterniflora* desaparecen y *Sarcocornia perennis* es la especie dominante en el límite inferior de la vegetación, en la zona superior de la franja intermareal (Collantes y Faggi, 1999; Isacch *et al.*, 2006; Isla *et al.*, 2010). Entre Bahía Blanca y Río Chubut, en la parte alta de las marismas de *S. perennis* se ha descrito la presencia de otras especies, como *Heterostachys ritteriana*, *Limonium brasiliense*, *Atriplex spp.*, *Lycium chilensis*, *Suaeda patagonica*, *Suaeda divaricata* (Isacch *et al.*, 2006).

La ausencia de *S. alterniflora* en latitudes altas se ha atribuido a condiciones fisiológicas. La disminución en las temperaturas y un aumento en la incidencia de las heladas son dos factores que aparentemente afectan su desarrollo (Idaszkin y Bortolus, 2010). Sin embargo, en un trabajo reciente se la describe como una especie invasora que está aumentando su abundancia en el límite sur de su distribución (Bortolus *et al.*, 2015).

1.3. Estuario de Bahía Blanca

1.3.1. Características físicas

El estuario de Bahía Blanca (Figura 1.1) se encuentra localizado al sudoeste de la provincia de Buenos Aires. El área ha sido foco de numerosos estudios y tesis (Angeles, 2001; Spagnuolo, 2005; Revollo Sarmiento, 2015; entre otras). Es un estuario mesomareal, con un régimen de marea semidiurno (Perillo *et al.*, 2001), conformado por una serie de canales con dirección predominante NO-SE, planicies de marea e islas, que abarcan una superficie aproximada de 2300 km² (Melo, 2004). En el sector norte del estuario domina el Canal Principal, de aproximadamente 68 km de largo de rumbo Noroeste-Sudeste, con un ancho variable entre 100 m en el nacimiento y 10 km en la unión con el Océano Atlántico (Perillo y Piccolo, 1990). La amplitud de marea se encuentra entre los 2,2 m en la boca y 4 m en la cabecera. Otros canales importantes son los canales “Bermejo”, “Bahía Falsa”, “Bahía Verde” y “Caleta Brightman”. Los principales aportes de agua dulce provienen de dos tributarios, el río Sauce Chico y el arroyo Napostá Grande, que poseen una descarga de 1,8 y 0,8 m³/s respectivamente (Melo, 2004). Sin embargo, a pesar del bajo aporte promedio, pueden observarse grandes variaciones con valores de hasta 200 m³/s (Piccolo *et al.*, 2008). Existen otros aportes de agua dulce pero están restringidos a períodos de mucha lluvia (Melo *et al.*, 2003).

Sobre el veril norte del Canal Principal se encuentran los principales asentamientos urbanos del área de estudio: las ciudades de Bahía Blanca, Punta Alta y General Cerri (Figura 1.1), además de Puerto Rosales, Puerto Belgrano, Puerto Ingeniero White, Puerto Galván y Puerto Cuatrerros y un gran polo petroquímico. Estas obras de infraestructura coexisten con la Reserva Natural Provincial Bahía Blanca, Bahía Falsa, Bahía Verde; la Reserva Natural Provincial Islote del puerto (Bahía Blanca) y la Reserva Natural Municipal Costera Bahía Blanca.

1.3.2. Características climáticas

El clima que se observa en la región es templado de transición, entre el cálido y húmedo de las Pampas y el frío y seco de la Patagonia. El paralelo 40°S determina la posición aproximada de lo que se conoce como diagonal árida o arreica, una franja de escasas lluvias que atraviesa el continente desde el norte de Perú hasta la costa patagónica, donde se ve interrumpida la

continuidad de zonas húmedas por una serie de enclaves áridos sucesivos (Bruniard, 1982). Constituye una verdadera divisoria climática ya que señala el límite de la influencia de los vientos húmedos del atlántico y las áreas sometidas al régimen de vientos del oeste (Capelli y Campo, 1994; Campo *et al.*, 2004). La Figura 1.2 muestra los valores calculados a partir del Régimen de aridez, un índice que calcula el número de meses en los que la precipitación es menor a la mitad de la evapotranspiración de referencia.

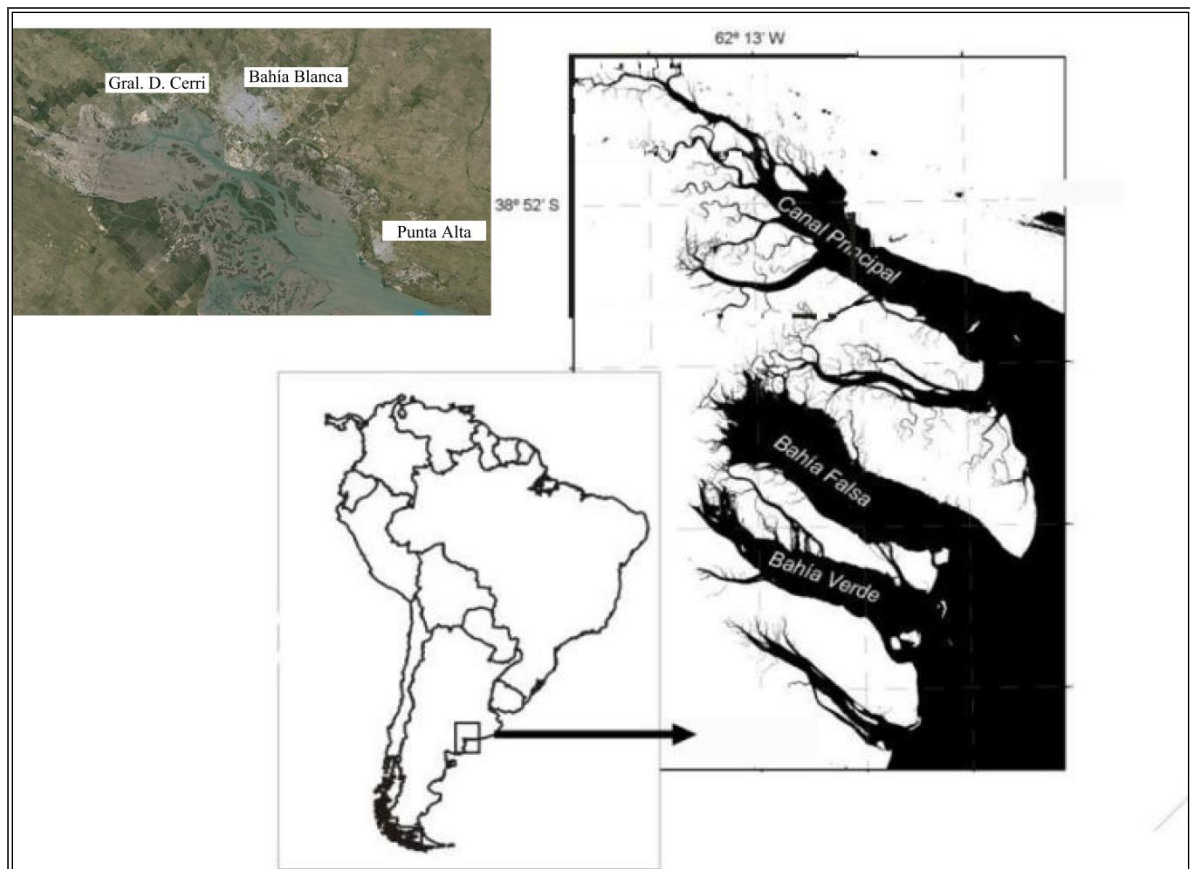


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.

Se realizaron los balances hídricos normales (1980-2010) para las estaciones de Barrow e Hilario Ascasubi (suroeste) y mostraron una gran heterogeneidad. Hacia el noroeste (Barrow), mostró predominio de excedentes durante el período, con un total de 89 mm. El máximo excedente ocurrió en el mes de mayo (30 mm) (Figura 1.2). Por el contrario, en los meses de verano (enero, febrero y diciembre) se registró un déficit total de 23 mm (Figura 1.2). El balance

hídrico normal de la región Sudoeste, representada por Hilario Ascasubi, tiene un comportamiento totalmente diferente (Figura 1.2). El período de déficit es de enero a mayo y de octubre a diciembre, con un total anual de 247 mm, con máximos en el mes de enero (78 mm). Dicha región no presenta excedentes hídricos.

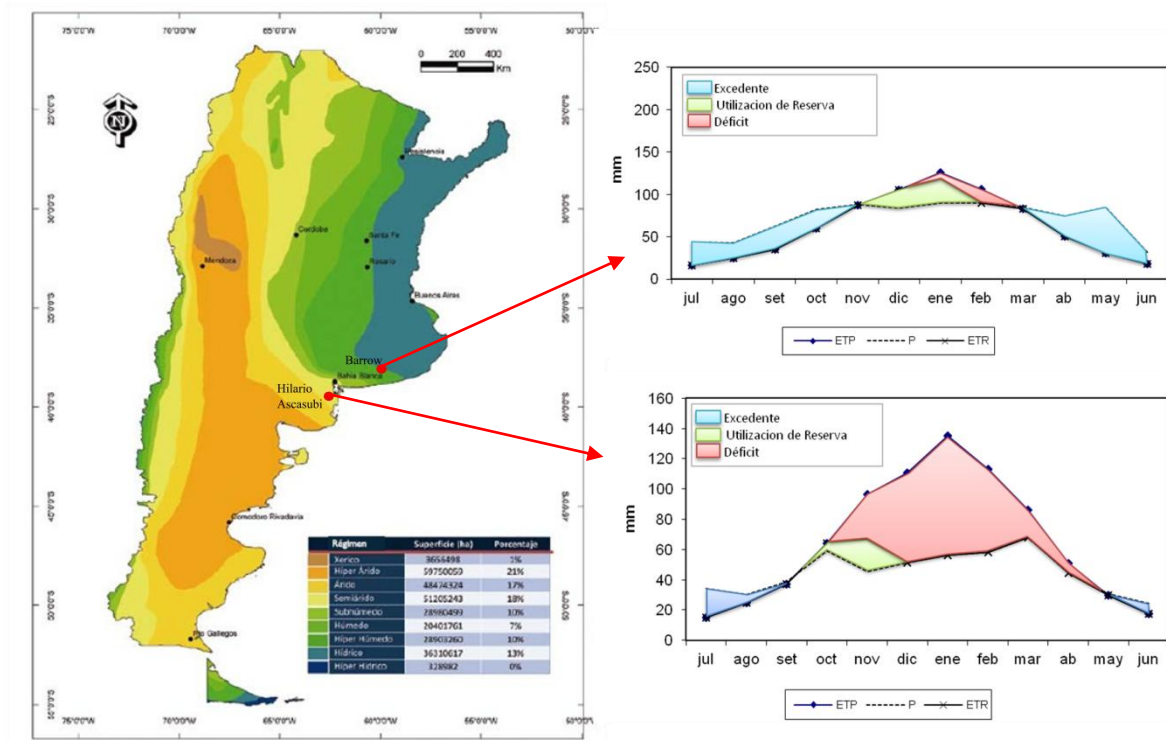


Figura 1.2. Mapa de aridez de Argentina, extraído de Verbist *et al.* 2007. Se puede observar la localización de la ciudad de Bahía Blanca en un régimen semiárido. En rojo se marcan las localidades de Barrow e Hilario Ascasubi con sus respectivos balances hídricos.

El estuario de Bahía Blanca se encuentra en un gradiente de aridez que aumenta de norte a sur y de este a oeste. De esta forma, el sector norte y este presenta precipitaciones superiores. Para el período comprendido entre 2002 y 2014, en la estación Ombucta, ubicada al norte del área de estudio, se registró una precipitación media anual de 534 mm, mientras que en estaciones localizadas en el sector sur se registraron valores menores. Por ejemplo, en Teniente Origone se registraron 500 mm y en Hilario Ascasubi 415 mm. En las estaciones Colonia Lote 6 y Colonia Triaco, ubicadas al oeste de Ombucta, se registraron 433 mm y 403 mm anuales respectivamente (la Figura 1.3 muestra la localización de las estaciones).

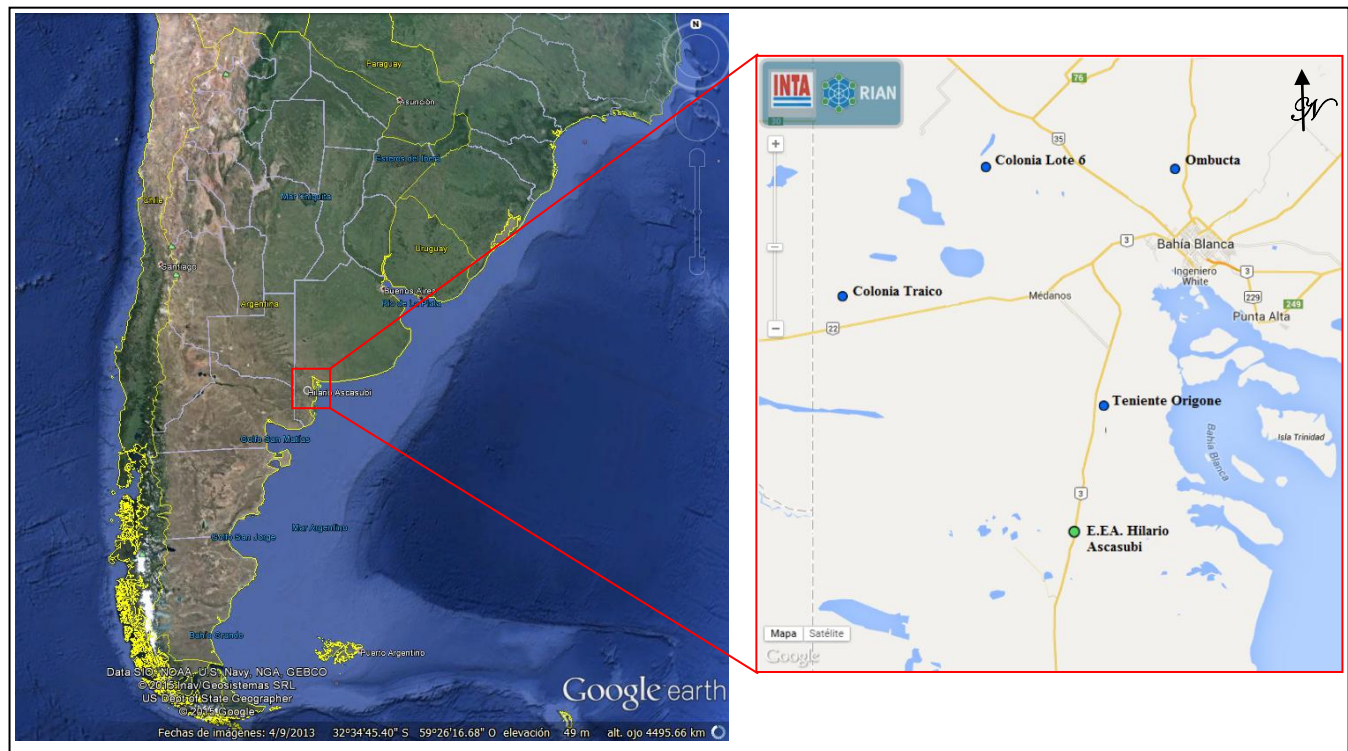


Figura 1.3.Localización de las estaciones del INTA.

La variabilidad temporal en las precipitaciones puede estudiarse en diferentes escalas, desde las variaciones diarias hasta las milenarias. Numerosos estudios (Bohn *et al.*, 2011; Gil *et al.*, 2008; Campo *et al.*, 2009; Gabella *et al.*, 2010; Piccolo *et al.*, 2002) afirman que en la región se observa una gran variabilidad en la ocurrencia de eventos de lluvia y la cantidad de precipitación. En el área de estudio se alternan períodos secos, caracterizados por varios años de déficit hídrico, donde los montos de precipitaciones están por debajo de la media histórica y en contraposición años húmedos, donde este valor se encuentra muy por encima de la media histórica. Considerando estas desviaciones positivas y negativas por encima o por debajo del promedio anual, se puede observar un comportamiento cíclico que representa la ocurrencia de años húmedos, secos o medianamente secos (Glave, 2006).

En Sudamérica, el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), ha sido relacionado con anomalías en las precipitaciones. Durante los meses de noviembre-diciembre se encontró una correlación negativa entre el índice ENSO y las precipitaciones para el Sur de Sudamérica (Aceituno, 1988). Por otro lado el fenómeno la Niña provoca el efecto opuesto (Kousky y Ropelewski, 1989). Estudios recientes muestran que los ciclos de precipitación del continente

Sudamericano estarían modulados a su vez por la Oscilación decadal del Pacífico (PDO) (Andreoli y Kayano 2005, García y Kayano 2006, Kayano y Andreoli 2007). Según Kayano y Andreoli (2007) esta variabilidad podría explicarse a partir de la señal de ENSO en los casos que ENSO y PDO están en la misma fase. Además se ha destacado que eventos ENSO durante fases positivas de la PDO afectan al transporte de humedad y a los patrones de circulación tropical-extratropical en el verano austral sobre la región.

Para la zona de Hilario Ascasubi se ha estudiado la relación entre las precipitaciones y el índice ONI (Figura 1.4; Delgado, 2013) durante los años 2002-2010. Este índice considera la ocurrencia de tres meses consecutivos de anomalía de la temperatura superficial del mar superior a 0.5°C en el Pacífico ecuatorial. Se detectó que los eventos ENSO tienen gran influencia en las precipitaciones, en particular los eventos que corresponden al Niño 2002-2003 que provocaron un período húmedo durante 2002 y 2003, y los que corresponden a la Niña 2007-2008 que produjeron una fuerte sequía en estos años y mitad del 2009. Sin embargo, hay eventos húmedos y secos que no pueden ser explicados por este fenómeno (Delgado, 2013).

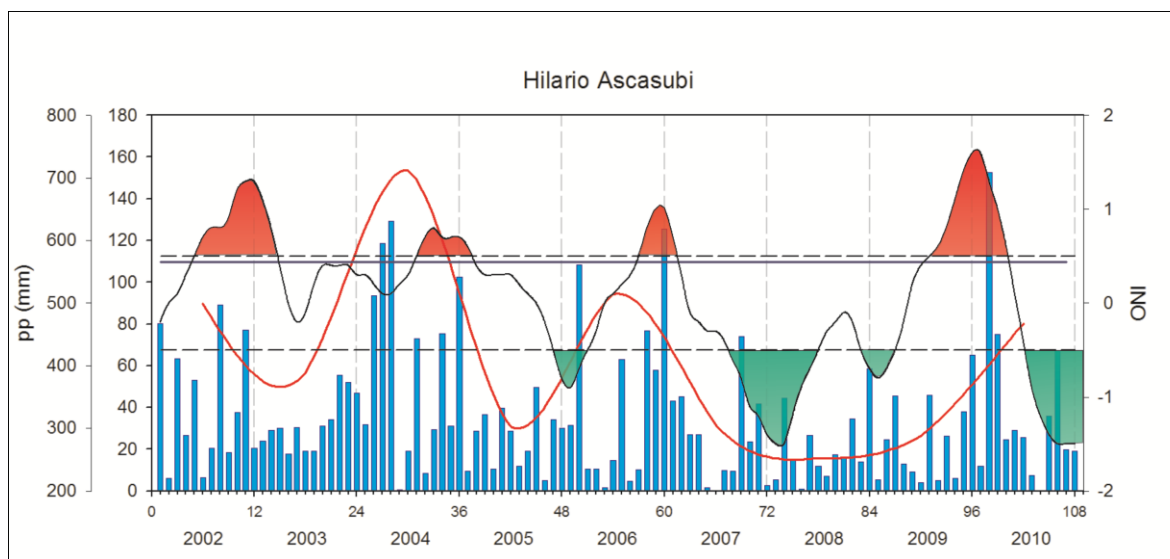


Figura 1.4. Precipitación mensual (barras azules) y anual (línea roja) en la estación Hilario Ascasubi en relación al ENSO; la línea azul es la precipitación normal; la línea negra es el ONI; las líneas intermitentes representan el valor del ONI a partir del cual se representa un evento Niña (verde) o Niño (rojo) (extraído de Delgado, 2013).

1.3.3. Un paisaje costero modelado por las ingresiones marinas ocurridas durante el Holoceno

La altura promedio del nivel global del mar ha estado aumentando desde el fin de la última glaciación hasta el presente (Wolanski *et al.*, 2009). Pero, el nivel relativo del mar con respecto a la tierra puede variar localmente debido a efectos hidrográficos y tectónicos (Pirazzoli, 1991). En algunas regiones, las masas terrestres que habían sido presionadas por los casquetes glaciares sufrieron un ajuste isostático y se elevaron. Debido a este ajuste, el nivel relativo del mar estuvo por encima del actual durante un periodo, pero a medida que se aceleró el ascenso del continente, la tierra se elevó más rápido que el nivel global del mar y, por lo tanto el nivel relativo comenzó a descender (Wolanski *et al.*, 2009).

Esta situación refleja lo ocurrido en el sur de Sudamérica, donde la característica fundamental en la génesis del paisaje costero ha sido la acción de las ingresiones marinas ocurridas durante el Holoceno (Isla, 1989). En la planicie costera del Río de la Plata varios autores describen una ingesión que alcanzó, hace unos 6000 años, un pico de aproximadamente 6 m sobre el nivel actual (Cavallotto *et al.*, 2004). A lo largo de la costa patagónica aparecen evidencias de antiguas líneas de costa con elevaciones crecientes hacia el sur, lo que sugiere además un levantamiento tectónico (Rostami *et al.*, 2000). El paisaje costero está marcado por extensas zonas bajas correspondientes a ambientes estuariales antiguos y por una profusión de geoformas típicamente regresivas, como playas de regresión y depósitos característicos de antiguas lagunas litorales, que se originaron por la fluctuación del nivel del mar durante el Holoceno.

Para el área costera de Bahía Blanca, se describe una ingesión marina que alcanzó un nivel máximo de 7 m sobre el nivel actual, hace aproximadamente 6000 años (Gómez y Perillo, 1995). La evidencia de esta ingesión aparece en forma de extensas planicies de origen marino que actualmente ocupan la zona costera. La dinámica litoral representada fundamentalmente por la acción de los cursos de marea (Perillo, 2009), ha determinado sobre estos niveles la existencia de dos ambientes: uno continental, vinculado a cotas más elevadas y sin interrupciones debidas a canales o brazos del mar y el restante insular caracterizado por la alta densidad de cursos de marea funcionales que representa un gran número de islotes, relictos de los que componen el ambiente anterior (Krüger y Peinemann, 1991). La configuración actual del estuario además

respondería a cambios climáticos complejos que ocurrieron a lo largo del tiempo. Desde el Pleistoceno el área ha sido afectada por alternancia de períodos secos y húmedos (Aguirre, 1995).

1.4. Descripción del contenido de la tesis: Hipótesis de trabajo y objetivos

La hipótesis general sobre la que se trabajó es que la presencia y estructura de los humedales costeros está determinada por la posición vertical relativa del terreno, el nivel del mar y la profundidad de la capa de agua subterránea.

El objetivo general de la tesis es describir los condicionantes hidrogeomórficos que determinan la presencia y estructura de los distintos tipos de vegetación en la zona costera de Bahía Blanca. De acuerdo al marco teórico propuesto, se pretende describir los humedales de franja estuarial, determinados por la influencia directa de las mareas y evaluar la presencia de humedales perimarineros (humedales fuera del alcance de las mareas, que persisten debido al control del nivel del mar sobre el agua subterránea). En función de estos objetivos generales, la tesis se organiza de la siguiente forma:

El **capítulo 2** se centra en identificar y caracterizar las asociaciones de plantas de la zona costera de Bahía Blanca, de acuerdo a la presencia y cobertura de las distintas especies vegetales. En el mismo se presenta una clasificación jerárquica y conceptual de los ambientes del área de estudio, considerando la influencia del régimen de mareas, la fisonomía de la vegetación y la presencia de distintas especies dominantes o características.

En el **capítulo 3** se realiza una caracterización hidrogeomórfica de los ambientes costeros de Bahía Blanca. A través de la utilización de imágenes satelitales de la serie Landsat y curvas de nivel digitalizadas a partir de cartas topográficas (IGM) y su integración en un entorno SIG para elaborar el mapa geomorfológico, el mapa de condición hidrológica y el mapa de vegetación del área de estudio.

En el **capítulo 4** se analiza la influencia de la lluvia y de las mareas en el régimen de inundación de las marismas de *S. densiflora* que se desarrollan en las depresiones correspondientes a antiguos canales de marea, en la unidad caracterizada como Planicie Reciente.

En el **capítulo 5** se estudia el efecto de distintas soluciones salinas sobre el porcentaje final de germinación de especies características de los ambientes estudiados. Se pretende conocer concentraciones y sales que limitan la germinación y cuáles afectan la viabilidad de las semillas de las distintas especies.

Finalmente, en el **capítulo 6** se hace una síntesis e integración de los resultados más relevantes.

Capítulo 2:
**Asociaciones vegetales de la región costera de Bahía
Blanca**

Capítulo 2. Asociaciones vegetales de la región costera de Bahía Blanca

INTRODUCCIÓN

Según la WWF (World Wide Fund For Nature- <http://wwf.panda.org>), se define a una ecorregión como una gran área de tierra o agua, caracterizada por un conjunto distintivo de especies, comunidades naturales y condiciones ambientales. Si bien sus objetivos están principalmente relacionados a la conservación, resultan de utilidad para evaluar la estructura de la vegetación (Olson *et al.*, 2001). En una clasificación reciente (Olson *et al.*, 2001) se subdividió al planeta en 14 biomas y ocho reinos biogeográficos, dentro de los que se distribuyen las 867 ecorregiones. De acuerdo a esta clasificación, la Argentina se localiza en el reino biogeográfico “Neotropical” y una gran parte del territorio está en el bioma “pastizales, savanas y arbustales templados”. En particular, el área de estudio se ubica en la ecorregión de la “Pampa semiárida” (NT0806), que abarca parte de las provincias de Buenos Aires, La Pampa, San Luis y Córdoba y es atravesada por dos ríos principales: el río Colorado y el río Salado. Sin embargo, es más utilizada la clasificación de ecorregiones realizada por Burkart (1999), que se basa en la fitogeografía delineada por Cabrera (1971).

De acuerdo a la clasificación realizada por Cabrera (1971), el área de estudio se localiza en el Distrito del Caldén de la Provincia fitogeográfica del Espinal y su transición al Distrito Austral de la Provincia fitogeográfica Pampeana. La vegetación dominante del distrito del Caldén es el bosque de *Prosopis caldenia*, asociado a *P. nigra*, *P. flexuosa*, *Geoffroea decorticans* y *Jodina rhombifolia*. A su vez, el bosque puede presentar un estrato arbustivo y un estrato herbáceo compuesto principalmente por gramíneas. Para el Distrito del Caldén se citan, entre otras comunidades edáficas importantes, los matorrales de palo azul (*Cyclolepis genistoides*), asociados a suelos muy alcalinos y las estepas de jume (asociaciones de *H. ritteriana*, *H. olivascens* y *A. patagónica*) comúnmente encontradas en salitrales (Cabrera, 1971).

Los límites del Espinal son imprecisos, ya que al oeste forma extensos ecotonos con la Provincia del Monte y al este con la Pampeana. Las características climáticas de una región son un factor importante para determinar su vegetación y, como se menciona en el capítulo 1, desde el sur hacia el norte y desde el oeste al este se observa un aumento de las precipitaciones. Con este aumento en las precipitaciones, comienzan a aparecer cada vez más elementos

correspondientes a la Provincia Pampeana hacia el norte, mientras que hacia el Sur del Espinal aparece el monte con bosques xerófilos. En estas zonas de ecotono se entremezclan especies de las distintas regiones, pudiendo encontrarse elementos de las tres Provincias fitogeográficas coexistiendo en un mismo sitio (Gil *et al.*, 2011). Además, el gran avance de la ganadería y la agricultura no permite conocer la extensión original de muchas de las especies.

Las asociaciones vegetales de la zona cercana a Bahía Blanca han sido ampliamente estudiadas por diversos autores. En un área más amplia que el área de estudio considerada en esta tesis, Lamberto (1981) identifica seis formaciones vegetales: matorrales xerófilos, estepa herbácea halófila, estepa herbácea psammofila, matorrales halófilos, estepa arbustiva halófila, agrupaciones de caldén. Otro trabajo (Nebbia y Zalba, 2007) identifica para la costa norte del estuario las clases cangrejales, marismas de *Spartina alterniflora*, estepas intermareales de *Sarcocornia perennis*, charcos y lagunas temporarias, pastizales halófilos, arbustales bajos dominados por *Allenrolfea patagonica*, arbustales bajos dominados por *Atriplex undulata* y arbustales altos de *Cyclolepis genistoides*. La clasificación supervisada de estos ambientes fue definida utilizando imágenes Landsat TM de 1999 (Angeles, 2001). También se ha analizado la relación entre las sales y la vegetación, observándose valores elevados de salinidad para estepa arbustiva halófila, intermedios para matorrales halófilos y los menores en el “chañaral” (Kruger y Peineman, 1996).

Objetivo:

Identificar y caracterizar las asociaciones de plantas de la zona costera de Bahía Blanca, de acuerdo a la presencia y cobertura de las distintas especies vegetales. Se intentará establecer una clasificación jerárquica y conceptual de los ambientes del área de estudio, considerando la influencia del régimen de mareas, la fisonomía de la vegetación y la presencia de distintas especies dominantes o características.

Se intentará responder las siguientes preguntas:

1- ¿Cuáles son las asociaciones de especies de plantas características de la zona que bordea el estuario de Bahía Blanca?

2-¿Cuáles son las especies dominantes y cómo varía su cobertura?

3-¿Existe alguna relación entre las especies de plantas presentes y la salinidad de los suelos?

METODOLOGÍA

Caracterización de asociaciones vegetales

Para caracterizar las asociaciones vegetales de la zona costera de la región de Bahía Blanca se realizaron muestreos aleatorios de cobertura durante los años 2010 y 2011, abarcando todas las estaciones. En recorridas previas se pudo observar que el arbustal de *C. genistoides* era el tipo de ambiente que presentaba una mayor variedad de especies. En función de esta observación se consideró un sector del arbustal para realizar una estimación del área mínima de muestreo (Mateucci y Colma, 1982). Se consideraron 10 parcelas cuadradas, de tamaño creciente, entre 0,06 m² y 64 m², dispuestas en forma tal que cada parcela incluía a todas las parcelas de tamaños menores. En cada parcela se registró el número total de especies presentes y se realizó un gráfico del número de especies en función del tamaño (área) de la parcela. El área mínima se estimó como el área en la cual la curva alcanza un plateau (punto de inflexión de la curva). A partir de este muestreo preliminar, se determinó que el área para las parcelas de muestreo sería de 5x5 m, asumiendo que ésta es el área mínima que asegura una representación suficiente de las especies presentes en el ambiente de mayor diversidad.

Para el muestreo se determinaron coordenadas en forma aleatoria dentro del área de interés. Del pool de coordenadas sólo se consideraron aquellas que permitían el acceso al punto de muestreo y el resto se descartó. En cada punto de muestreo se establecieron parcelas de 5x5 m dentro de las cuales se estimó visualmente la cobertura (%) de cada especie, considerando la presencia de diferentes estratos. Siempre que fue posible, la identificación taxonómica de las especies se realizó *in situ*. En los casos en los que no fue posible identificar a nivel de especie pero el estado fenológico de la planta lo permitía, se colectaron y herborizaron ejemplares completos para su identificación bajo lupa utilizando las claves de Cabrera (1967). En forma simultánea se colectaron muestras de suelo, que se trasladaron al laboratorio en las horas posteriores al muestreo.

Muestras de suelo

Por cada unidad de muestreo se tomó una muestra de suelo de 10,5 cm de profundidad y 7,3 cm de diámetro. Además se tomó una muestra del cm superior para el análisis de materia orgánica.

-Materia orgánica

El contenido de materia orgánica se determinó por calcinamiento (Ball 1964). Las muestras se secaron en estufa a 65 °C, hasta alcanzar peso constante y se registró el peso seco. Luego se llevaron a una mufla durante 5 hs a 450°C. Una vez a temperatura ambiente, las muestras se volvieron a pesar y se calculó el porcentaje de materia orgánica de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\%MO = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100 \quad (1.1)$$

Donde:

peso inicial = peso suelo seco – peso del recipiente

peso final = peso suelo muflado – peso del recipiente

-Conductividad de la solución de suelo 1:5

De cada muestra de suelo seco, disgregado y homogeneizado, se tomaron 40 g y se mezclaron con 200 mL de agua destilada. La mezcla se agitó por lo menos 1 minuto y se centrifugó a 25000 rpm durante 30 minutos. Se extrajo el sobrenadante y se le midió la conductividad con un medidor multiparametro de calidad del agua (Horiba U-10, rango de medición: 0-100 mS/cm, precisión: 0,01 ms/cm, 0,1 ms/cm ó 1 mS/cm).

Análisis estadísticos

Para explorar las diferencias en la composición taxonómica entre las asociaciones vegetales observadas en el área de estudio se usó el análisis multivariado de escalamiento multidimensional no métrico (non-metric Multi-Dimensional Scalling, nm-MDS) basado en una matriz de similitud de Bray Curtis. La representación gráfica del análisis está asociada a un cierto nivel de estrés (estrés de Kruskal) que es una bondad de ajuste de la ubicación de las muestras en un gráfico de dos dimensiones. El valor de estrés indica qué tan bueno es el gráfico que se presenta como la mejor resolución (gráfico MDS de dos dimensiones) y qué tan bien refleja las similitudes entre las muestras. Valores de estrés <0,1 son muy buenos (Clarke 1993). Para encontrar diferencias significativas entre ambientes se realizaron comparaciones de a pares aplicando un Análisis de Similitud de dos vías (*Analysis of Similarities*, ANOSIM) (Clarke,

1993). La contribución de cada taxón a la similitud dentro de un grupo y a la disimilitud entre los grupos, se estudió mediante el análisis de similitud porcentual (*Similarity Percentages*, SIMPER) utilizando el índice de similitud de Bray Curtis (Clarke, 1993). Los datos de abundancia fueron transformados con raíz cuadrada previamente a realizar la matriz de semejanza. Para llevar a cabo estos análisis, se utilizó el software estadístico PRIMER 6® (<http://www.primers-e.com/>).

RESULTADOS

Asociaciones vegetales

Se detectaron especies pertenecientes a 22 familias botánicas. Las familias más representadas fueron Asteraceae, Poaceae y Chenopodiaceae, también fueron muy importantes los aporte de las familias Fabaceae, Frankeniaceae, Solanaceae, Cactaceae y Anacardiaceae.

A partir del análisis multivariado de escalamiento multidimensional se identificaron seis agrupaciones vegetales diferentes (Figura 2.1). La composición de las especies fue significativamente diferente entre agrupaciones (ANOSIM, $R_{global}=0,707$ y $p=0,001$). Entre las muestras correspondientes a **arbustales dominados por chañar** (40,33% de similitud intragrupo) hubo mayor dispersión. Las especies que más contribuyen para definir esta asociación fueron *G. decorticans*, *A. undulata*, *Grindelia brachystephana*, *Lycium chilense* y algunas gramíneas. La **estepa halófila** presentó una dispersión similar (42,12% de similitud), siendo las especies dominantes *Heterostachys* sp., *S. perennis* y *A. patagonica*. Los **arbustales dominados por palo azul** presentan una varianza un poco menor que las clases anteriores (47,64%). Las especies dominantes son *C. genistoides* (52,85%), *A. undulata* (21,71%), y con una menor contribución *S.perennis*, *L. brasiliense* y *L. chilense*. Para **arbustales dominados por A. patagonica** la varianza interna fue similar (54,20%) siendo las especies dominantes *A. patagonica*, *C. genistoides*, *F. juniperoides* y *A. undulata*. Finalmente las **marismas dominadas por *Sarcocornia perennis*** y las **marismas dominadas por *Spartina densiflora*** presentaron mayor similitud interna (69,36% y 71,95% de similitud intragrupo), siendo las especies dominantes *S. perennis* para el primer ambiente y *S. densiflora* y *S. perennis* para el otro.

De acuerdo a la resolución final del nm-MDS (Figura 2.1), las muestras se localizaron a lo largo de dos ejes, observándose dos transiciones: en la primera de abajo hacia arriba se ubican las muestras de los arbustales correspondientes a chañaral. Aquí se observó una abundancia importante de *G. decorticans* (Figura 2.2), así como de *G. brachystephana* (Figura 2.3) y algunas gramíneas. Especies como *A. undulata* (Figura 2.4) y *L. chilense* (Figura 2.5) se presentan tanto en los arbustales dominados por *G.decorticans* como aquellos dominados por *C. genistoides*, que se encuentran a continuación en la transición. Este ambiente presenta elevadas abundancias de *C. genistoides* (Figura 2.6) y *F. juniperoides* (Figura 2.7), es común observar *L. brasiliense* (Figura

2.8). Ocasionalmente puede aparecer *Schinus* sp (Figura 2.9). Acercándose al otro extremo de la primer transición aparecen las muestras de arbustales dominados por *A. patagonica*, observándose un aumento en la abundancia de *A. patagonica* (Figura 2.10). Aparecen también otras especies como *G.bracteata* (Figura 2.11) y sigue encontrándose presente *L.chilense* (Figura 2.5). En el segundo eje, y de arriba hacia abajo, primero se observan las muestras correspondientes a la estepa halófila. En este ambiente domina *Heterostachys* spp. (Figura 2.12), aunque también puede observarse *S. perennis* (Figura 2.13) y *A. patagonica* (Figura 2.10). Luego aparecen marismas de *S. perennis* dominadas por esta especie (Figura 2.13) y por último comienza a aumentar la abundancia de *S. densiflora* (Figura 2.14) cuando nos encontramos en marismas de *S. densiflora*.

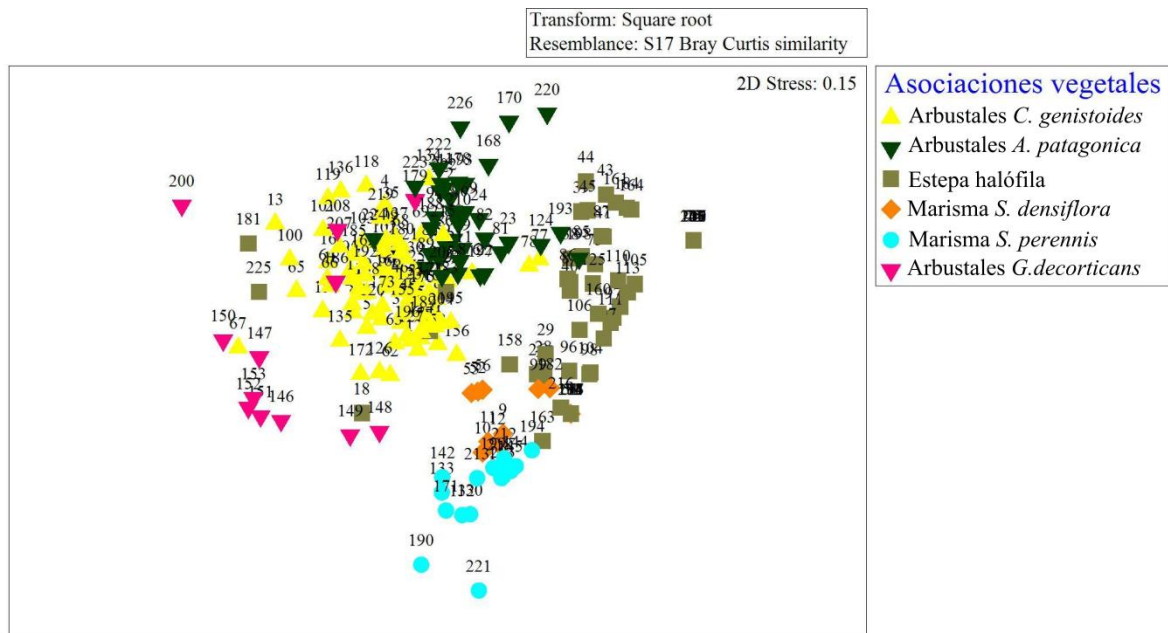


Figura 2.1 Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación en las diferentes asociaciones identificadas.

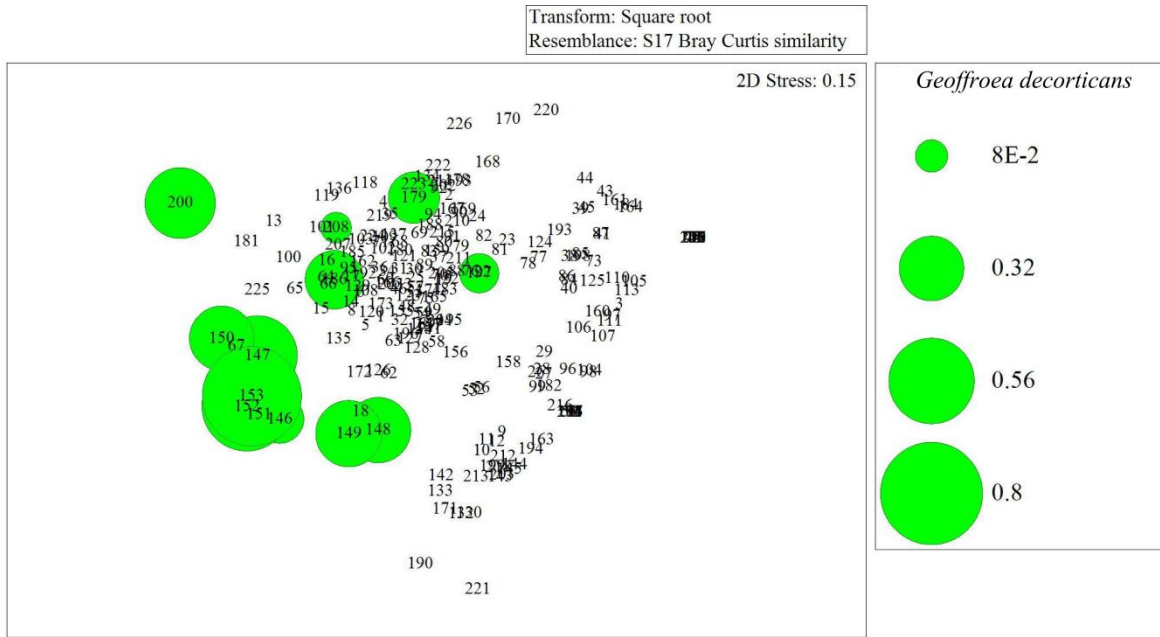


Figura 2.2. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *G. decorticans*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustal dominado por *G. decorticans*.

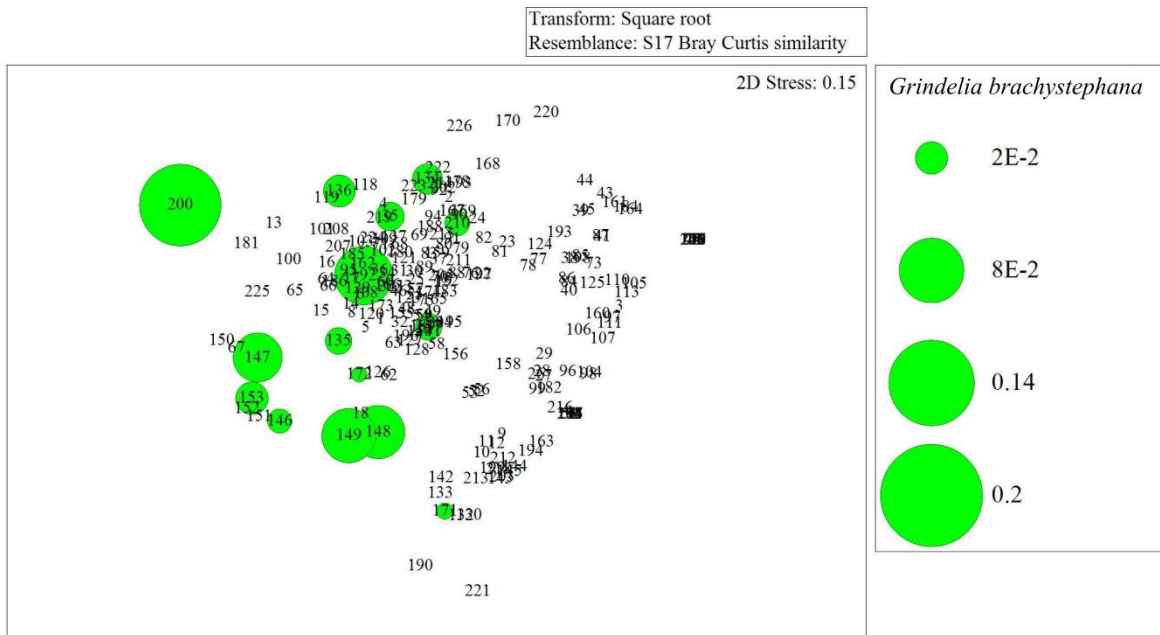


Figura 2.3. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *G. brachystephana*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustal dominado por *G. decorticans*.

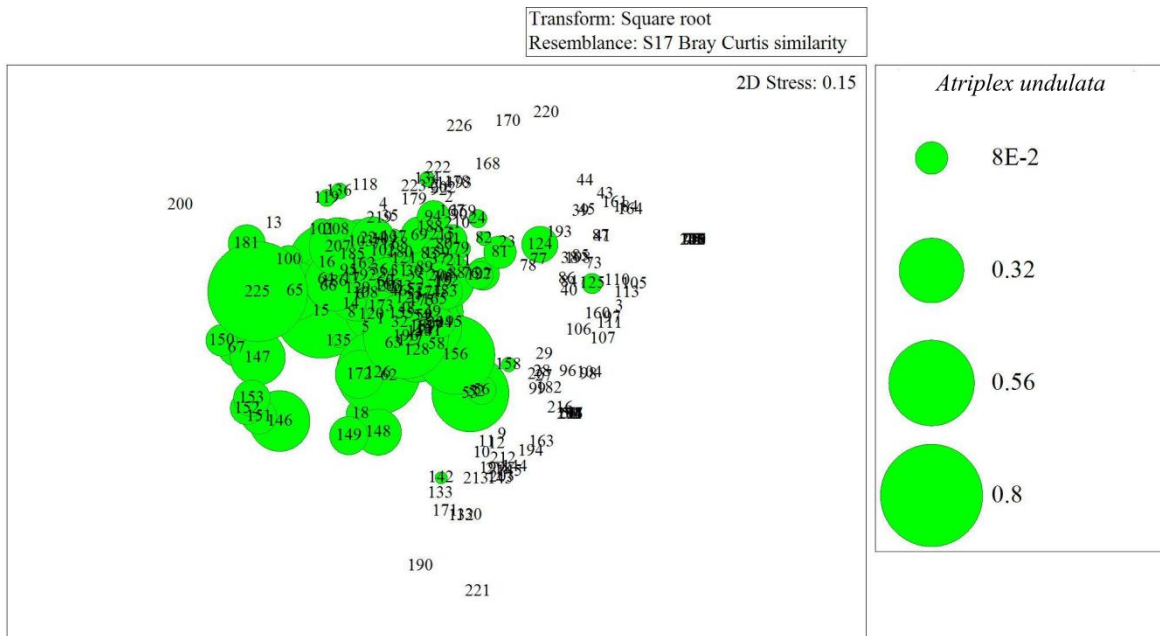


Figura 2.4. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *A.undulata*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustal dominado por *C.genistoides* y *G. decorticans*.

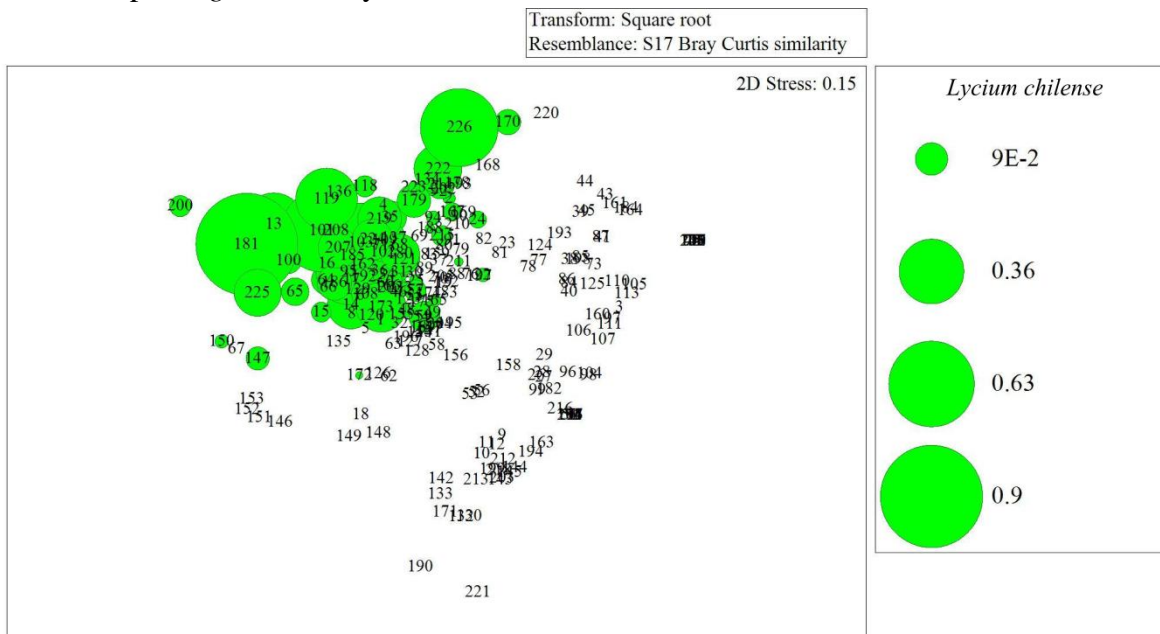


Figura 2.5. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *L. chilense*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustales de *C. genistoides*, de *G. decorticans* y *A.patagonica*.

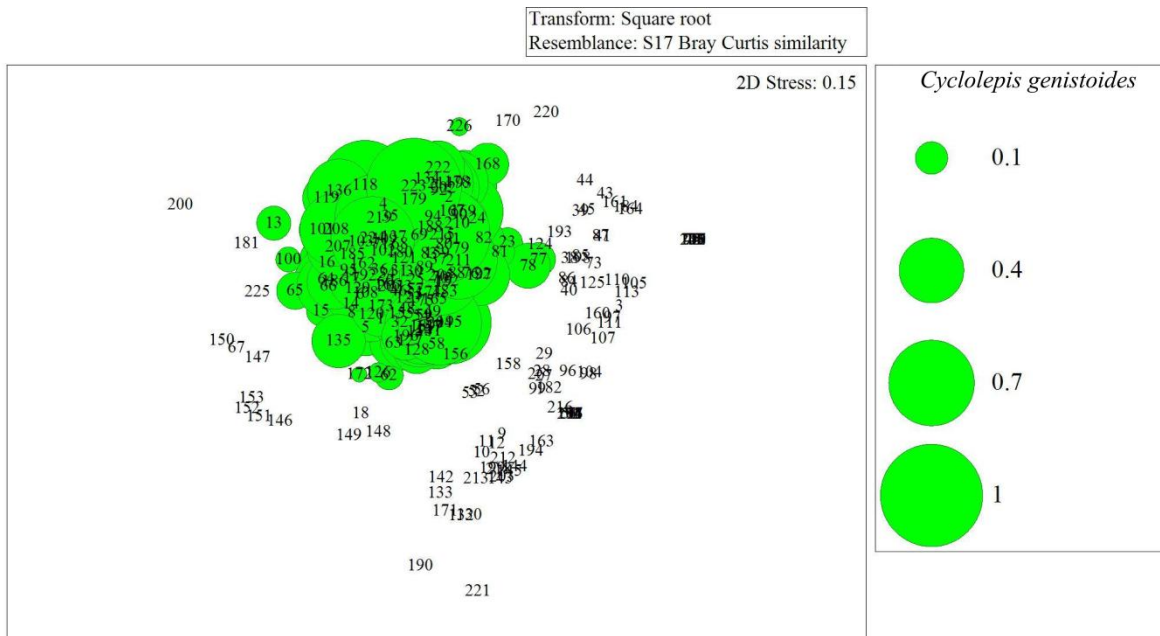


Figura 2.6. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *C.genistoides*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustal dominado por *C.genistoides*.

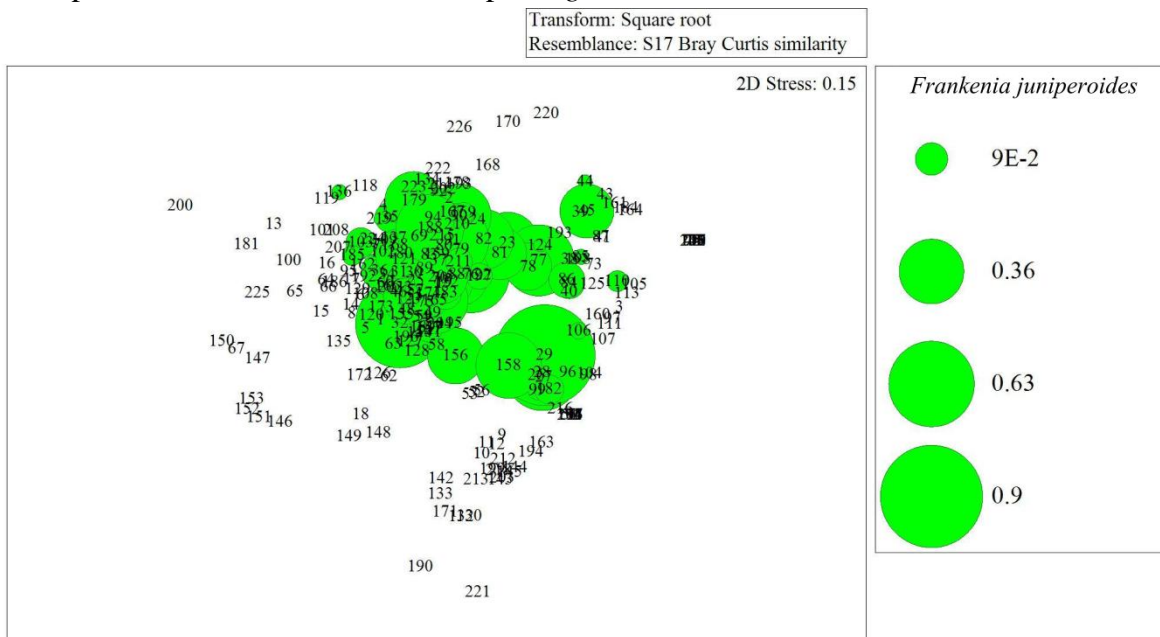


Figura 2.7. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *F.juniperoides*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustal dominado por *C.genistoides*.

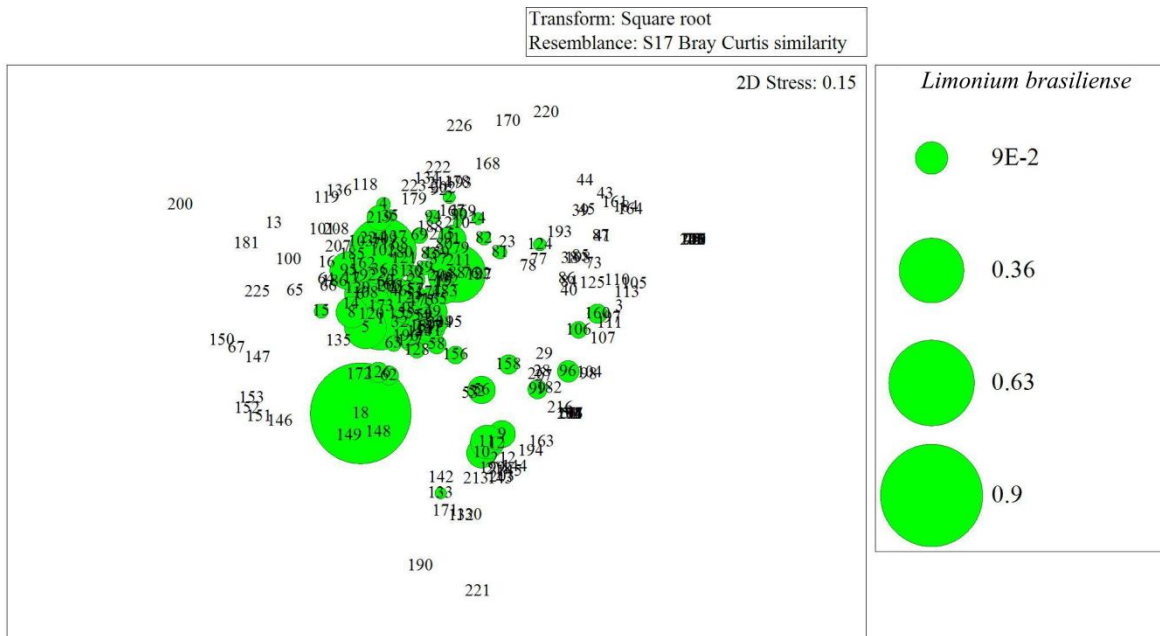


Figura 2.8. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *L. brasiliense*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustales de *C.genistoides*.

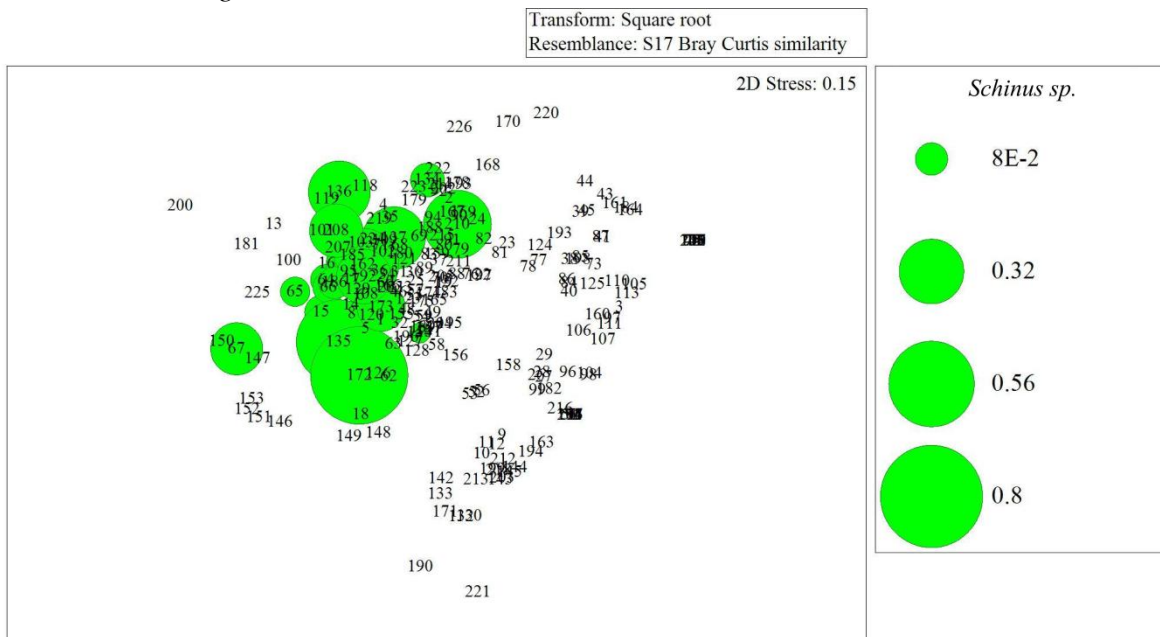


Figura 2.9. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *Schinus sp.*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustales dominados por *C.genistoides*.

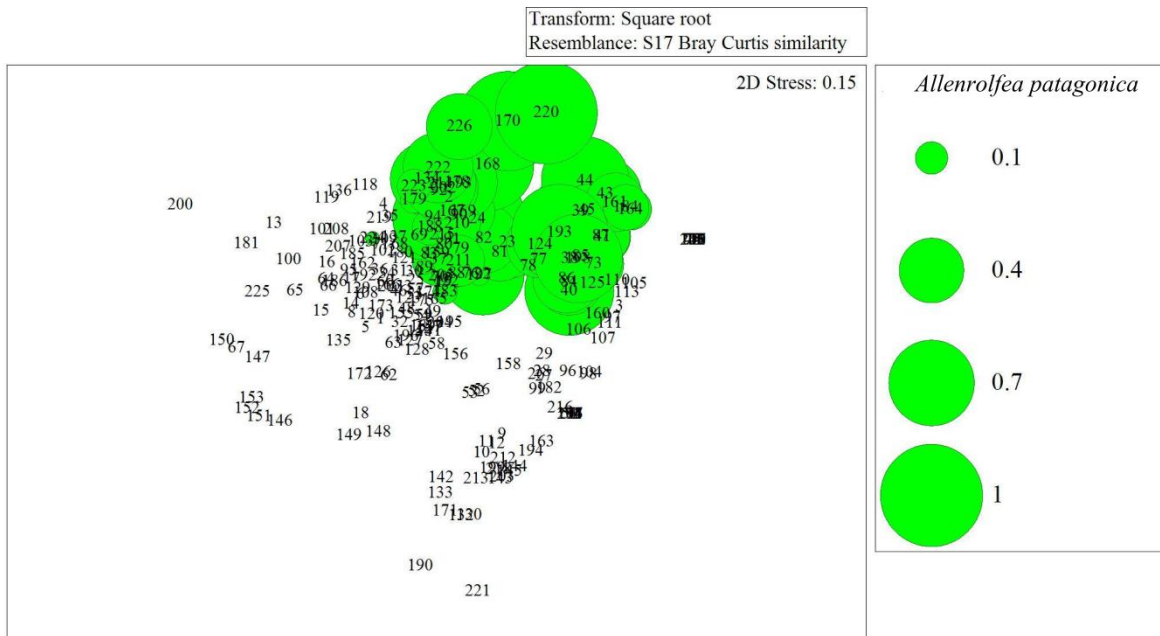


Figura 2.10. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *A.patagonica*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustal dominado por *A.patagonica* y en la estepa halófila.

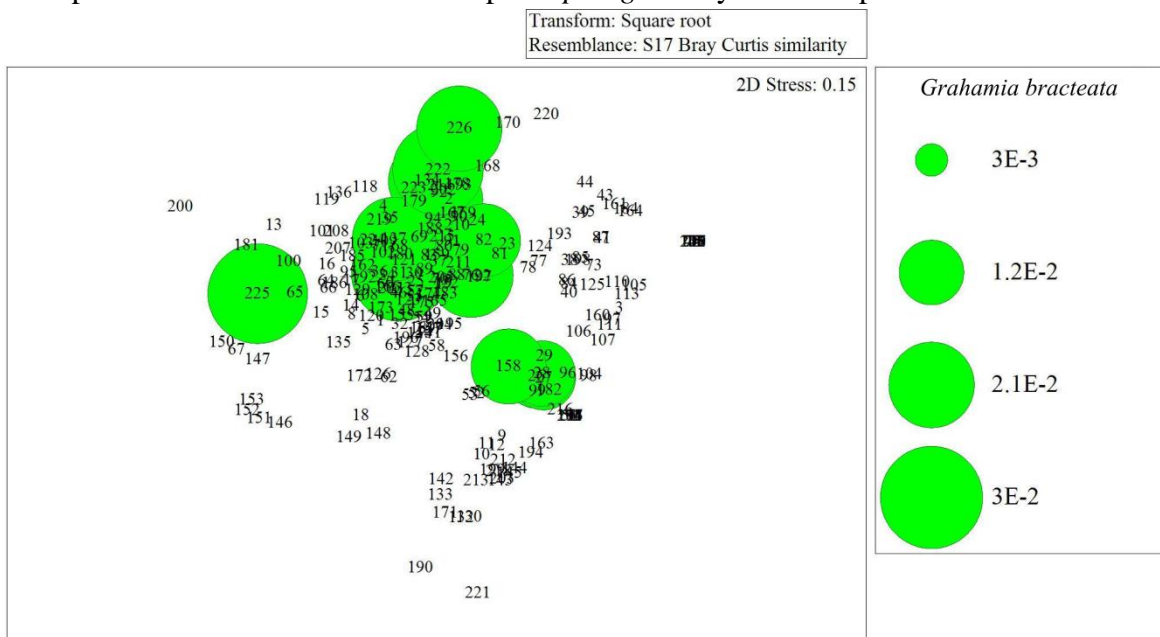


Figura 2.11. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *G.bracteata*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a arbustal dominado por *C.genistoides* y *A.patagonica*.

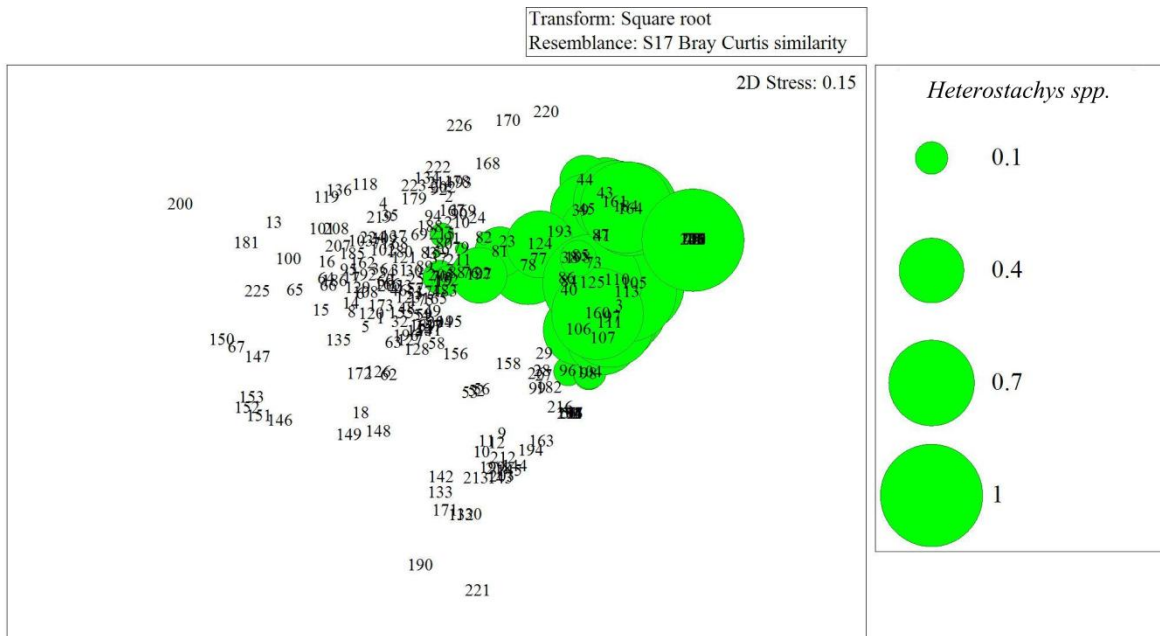


Figura 2.12. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *Heterostachys spp.* Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a estepa halófila.

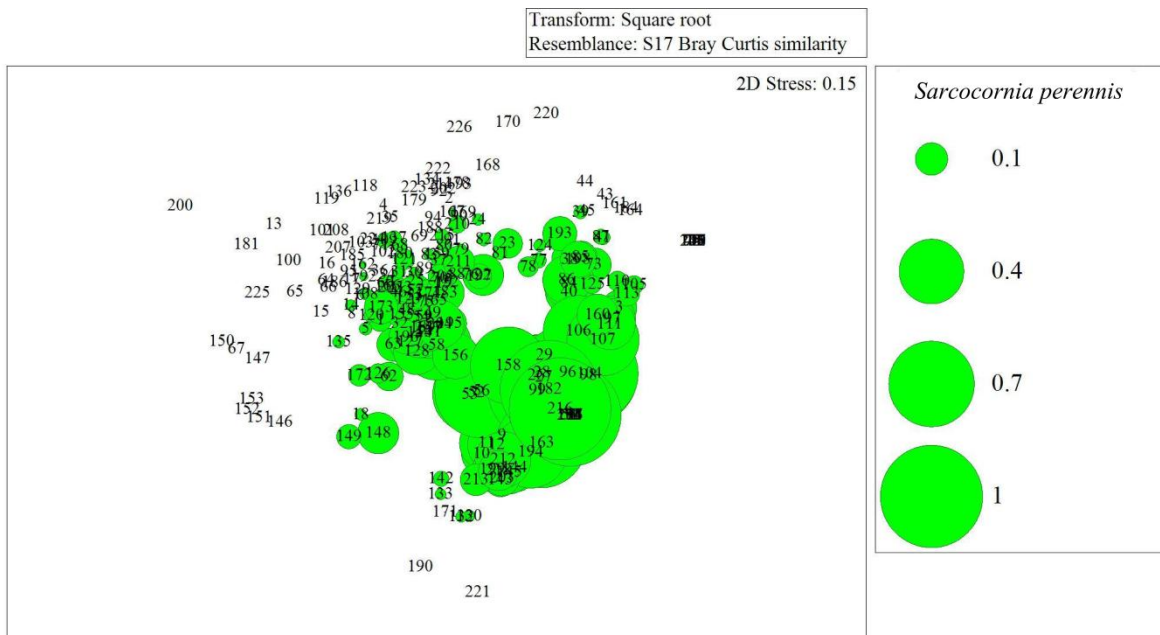


Figura 2.13. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *S.perennis*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a marismas de *S.perennis*.

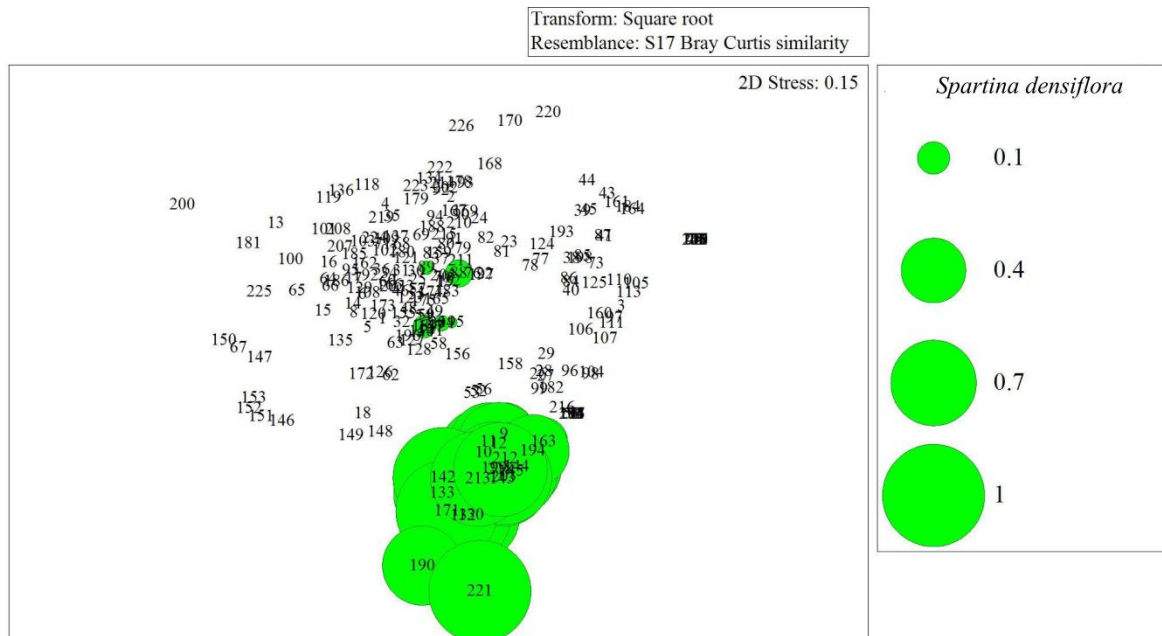


Figura 2.14. Gráfico nm-MDS para las muestras de vegetación, indicando el peso de *S.densiflora*. Observar la mayor representatividad de esta especie en las muestras correspondientes a marismas dominadas por *S. densiflora*.

Muestras de suelo

-Materia orgánica

Se presenta la media \pm desvío estándar de los valores de materia orgánica (m.o.) observados en muestras correspondientes a cada una de las asociaciones vegetales identificadas en la Figura 2.15. Los valores medios variaron entre 9 y 14.6%. Los arbustales dominados por *G.decorticans* presentaron los mayores valores de m.o., siguen en orden de importancia las marismas de *S.densiflora*, los arbustales de *A. patagonica*. Mientras que los menores valores de m.o. se observaron en la estepa halófila, arbustales dominados por *C. genistoides* y marismas dominadas por *S. perennis*.

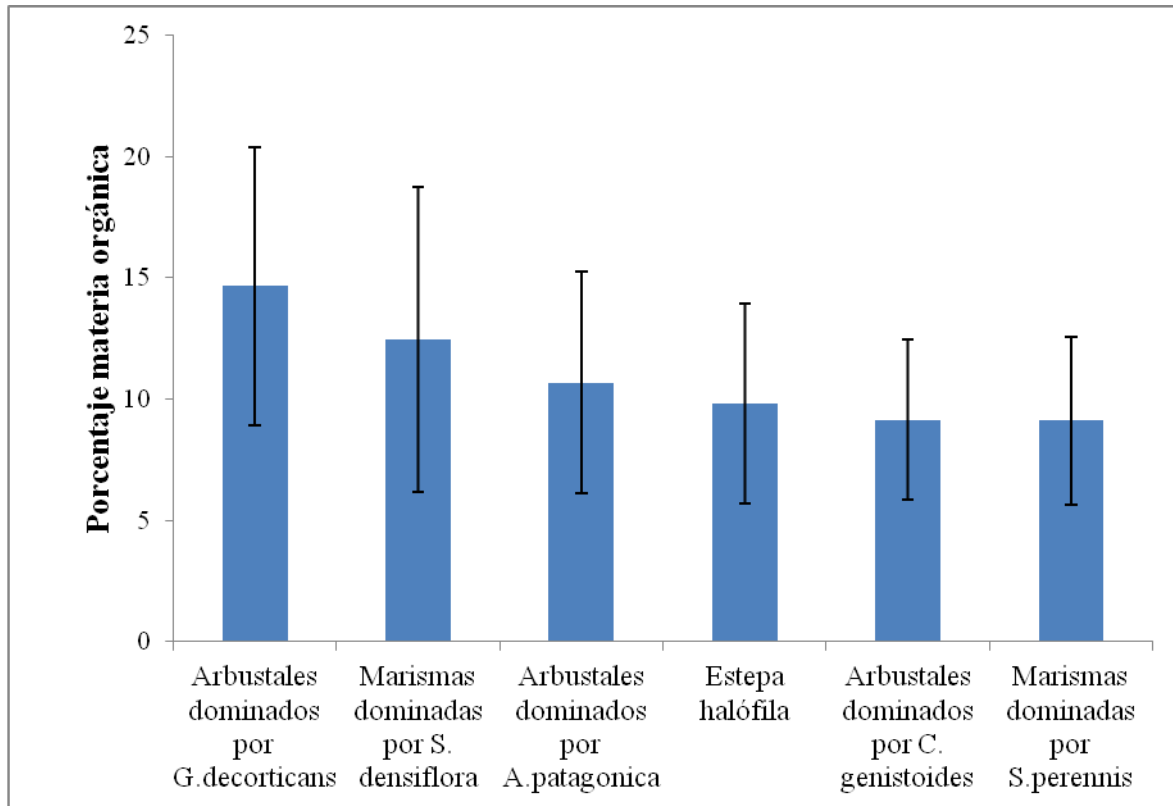


Figura 2.15. Porcentaje medio de materia orgánica para cada asociación. Las barras de error representan el desvío estándar.

-Conductividad eléctrica

La Figura 2.16 presenta la media \pm desvío estándar de la conductividad del sobrenadante para cada asociación. La estepa halófila presentó los mayores valores de conductividad eléctrica en el sobrenadante (c.e.), aunque los datos mostraban una gran dispersión entre fechas. Las marismas de *S. perennis* y arbustales dominados por *A. patagonica* presentaron valores similares aunque menores y su dispersión fue menor. Marismas dominadas por *S. densiflora* y arbustales dominados por *C. genistoides* también muestran valores menores, aunque con gran dispersión. Por último los arbustales dominados por *G. decorticans* presentaron los menores valores de conductividad.

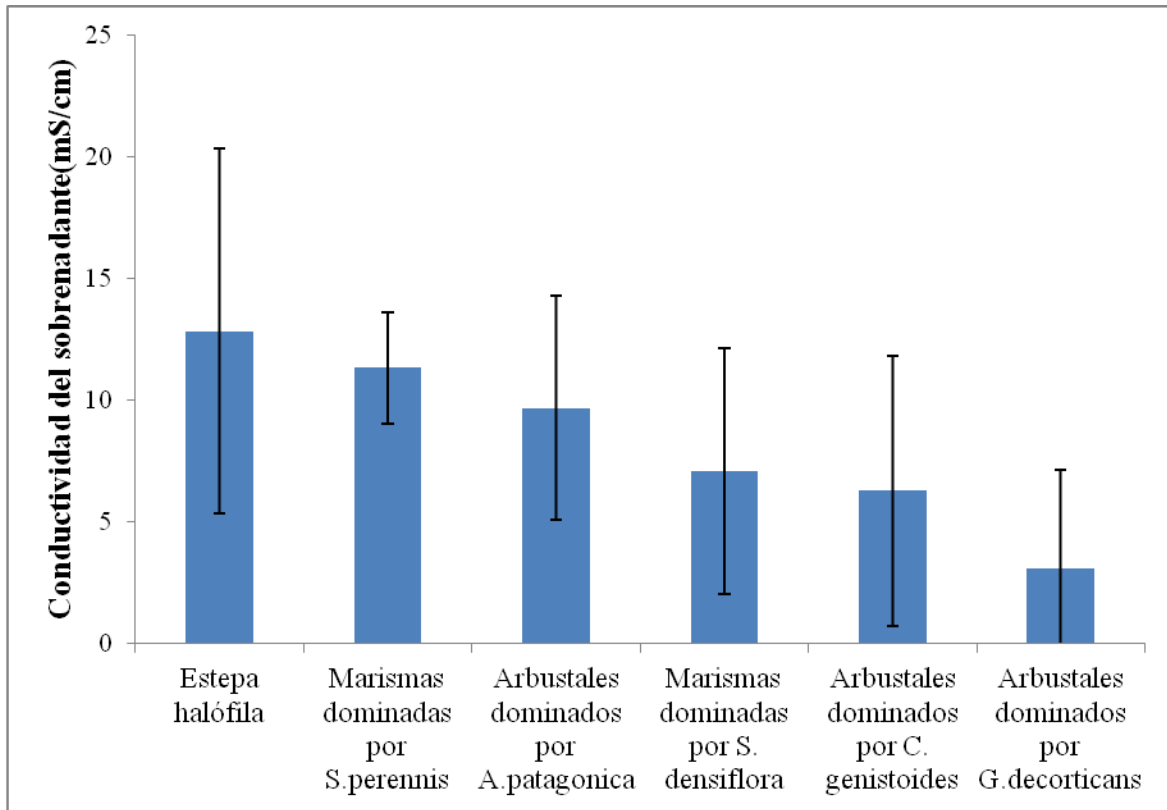


Figura 2.16. Conductividad media del sobrenadante media para cada asociación. Las barras de error representan el desvío estándar.

DISCUSIÓN

Se identificaron 6 asociaciones de plantas en el área muestreada: **arbustales dominados por chañar (chañarales), arbustales dominados por palo azul, arbustales dominados por *A. patagonica*, estepa halófila, marismas de *S. densiflora* y marismas de *S. perennis*.** Considerando las formaciones vegetales descritas por Lamberto (1981) para la hoja IGM 3963-17 Bahía Blanca, todas las asociaciones identificadas a partir de los muestreos se pueden incluir dentro de alguno de los siguientes ambientes: matorrales halófilos (incluyen a los arbustales dominados por palo azul, por *A. patagonica* y chañarales), estepa arbustiva halófila (incluye a las marismas de *S. perennis* y *S. densiflora* y a la estepa halófila) y, según la descripción del autor, los matorrales xerófilos incluyen a muchos de los sitios que se identificaron como arbustales de chañar en esta tesis. Además de estas formaciones, Lamberto (1981) describe agrupaciones de caldén, estepa herbácea xerófila y estepa herbácea psammofila, que se ubican fuera del área de interés de este trabajo.

Otros trabajos que caracterizan la vegetación de la zona se enfocaron en el veril norte del estuario o en porciones más reducidas (Nebbia y Zalba, 2007; Verettoni, 1961, 1974). En estos trabajos se discriminan pastizales halófilos dominados por *Distichlis spicata*. En los muestreos de esta tesis, sin embargo, la especie apareció con escasa cobertura, en manchones de tamaño reducido entremezclados en los arbustales de *C. genistoides*. Nebbia y Zalba (2007), además de identificar estos pastizales discriminan una formación que denominan arbustales bajos de *A. undulata*. En el presente trabajo, posiblemente debido al tamaño de la unidad muestral considerada, no se identificaron arbustales puros de esta especie. En cambio, *A. undulata* apareció siempre formando parte de los arbustales de palo azul, chañarales y estepa halófila, con mayor o menor cobertura según el sitio, pero nunca formando arbustales puros de extensión considerable.

Algunas especies fueron particularmente útiles para definir ambientes, ya que presentaron clara dominancia en algunos sitios, pero aparecieron sólo ocasionalmente y con muy baja cobertura formando parte de otras asociaciones. Este es el caso de *Spartina densiflora*, que dominó en las marismas de *S. densiflora* y estuvo presente ocasionalmente y con baja abundancia en arbustales de *C. genistoides*. Otro ejemplo es *G. decorticans*, que estuvo presente en chañarales y ocasionalmente fue registrada en arbustales de palo azul. Ambas especies poseen mecanismos efectivos de propagación asexual, que las han convertido en exitosas invasoras en

otros lugares (Echeverría y Molinero, 1991; Anderson, 1976; Nieva *et al.*, 2001; Nieva *et al.*, 2003). Por un lado las raíces gemíferas del chañar permiten que esta especie se expanda formando “isletas” (Anderson, 1977), mientras que la *S. densiflora* produce un gran número de macollos (Nieva *et al.*, 2001). Esto puede contribuir a explicar la clara dominancia de estas especies cuando están presentes. Su ausencia en otros ambientes puede deberse a limitaciones del ambiente (presencia de sales, marea), a algún tipo de interacción biológica o incluso a una ineficiente dispersión a partir de semillas.

Otras especies tuvieron una gran abundancia en una asociación determinada y también una presencia importante en al menos otra. Ejemplos de esto son *C. genistoides*, que se encontró en grandes abundancias en arbustales dominados por *C. genistoides* y su presencia también fue importante en arbustales dominados por *A. patagonica*. *A. patagonica* es otro caso, ya que predominó en los arbustales dominados por *A. patagonica* y también se registró frecuentemente en estepa halófila. Un tercer grupo de especies presentó abundancias intermedias y se encontraron presentes en varios ambientes. Aquí se pueden encuadrar a *A. undulata* que se observa en arbustales de *C. genistoides*, arbustales dominados por *G. decorticans*, arbustales dominados por *A. patagonica* y estepa halófila; a *L. chilensis* y *S. perennis* que también se observan en varias asociaciones. Finalmente se encontraron especies que son raras y aparecieron muy pocas veces, estas especies no se consideraron para los análisis.

La distribución de las especies vegetales en marismas y salitrales es determinada en gran medida por la acción de la marea, la inundación y la salinidad (Chapman, 1974; Ungar, 1991). De acuerdo a los valores reportados por Krüger y Peinemann (1996), la comunidad de “chañaral” presenta los menores valores de salinidad, mientras que para asociaciones de *S. perennis* y *Heterostachys* sp. se observan los mayores valores. A su vez, Veretoni (1961) informó para asociaciones de *S. perennis* y *H. ritteriana* una elevada concentración de cloruros y sulfatos, descritos como “álcali blanco” y asociados a la evaporación de agua de mar. Con respecto a la salinidad de los suelos, la autora hace una distinción entre este tipo de sales y el “álcali negro”, compuesto principalmente por carbonatos y que representa una limitación mayor para el crecimiento de la vegetación debido a su pH alcalino (Veretoni, 1961). En los resultados presentados en este capítulo, se observó una gran fluctuación de la conductividad eléctrica en la mayoría de las asociaciones. Esto podría ser consecuencia de las variaciones climáticas entre fechas de muestreo, ya que factores como la ocurrencia de precipitaciones, la cantidad de días

transcurridos desde las lluvias y la temperatura ambiente tienen un gran efecto en la concentración o dilución de sales en el suelo.

En el caso de las marismas de *S. densiflora*, la variabilidad en la concentración de sales se relacionó con la posición del sitio con respecto al rango de mareas. Se observó que para aquellos sitios ubicados más cerca del canal de marea activo los valores de conductividad fueron consistentemente mayores. Más allá de la variabilidad descrita, los resultados muestran tendencias claras entre la composición de especies y la salinidad del suelo. En forma similar a lo descrito por Kruger y Peineman (1996), los arbustales dominados por chañar se ubicaron en el extremo más benigno del gradiente y las asociaciones en las que aparece *S. perennis* (especialmente la estepa halófila y las marismas de *S. perennis*) se registraron en sitios con mayor salinidad.

En función de las asociaciones de especies identificadas, su fisonomía dominante y la posición de los censos con respecto al alcance de las mareas, se elaboró una clasificación conceptual y jerárquica de los ambientes costeros de la región de Bahía Blanca (Figura 2.17 y 2.18). Para definir el mayor nivel jerárquico se consideró la posición respecto al alcance de las mareas (intermareal vs supramareal). En este punto cabe aclarar que como intermareal se hace referencia a sectores que son inundados regularmente por la marea (dos veces al día), mientras que el supramareal corresponde a sectores que no son alcanzados por las mareas diarias (aunque algunos sitios podrían verse inundados en las mareas de sicigia).

La clasificación incluye, además de los ambientes identificados a partir de los muestreos, otras cuatro clases que se utilizarán en los análisis posteriores: cobertura de origen **antrópico**, **peladales**, **planicies de marea** y **marismas de *S. alterniflora***. Por origen antrópico, se hace referencia a caminos, campos con cultivos, ciudades y obras de infraestructura. Los peladales corresponden a suelo descubierto, como son los salitrales. Las planicies de marea se localizan en el sector intermareal no cubierto por vegetación. Finalmente las marismas de *S. alterniflora* corresponden a una asociación que ha sido extensamente descrita dentro del paisaje costero de Bahía Blanca (Nebbia y Zalba, 2007; Gonzalez Trilla, 2010; Pratolongo *et al.*, 2009; Pratolongo *et al.*, 2013), pero que tiene baja ocurrencia en la zona interna del estuario. En el área de interés considerada en este capítulo existen espartillares de *S. alterniflora* fácilmente identificables en fotografías aéreas, imágenes satelitales e incluso se los puede observar desde muchos de los

puntos relevados. Lamentablemente estos sitios no son accesibles por tierra y por eso no fueron cubiertos por el muestreo.

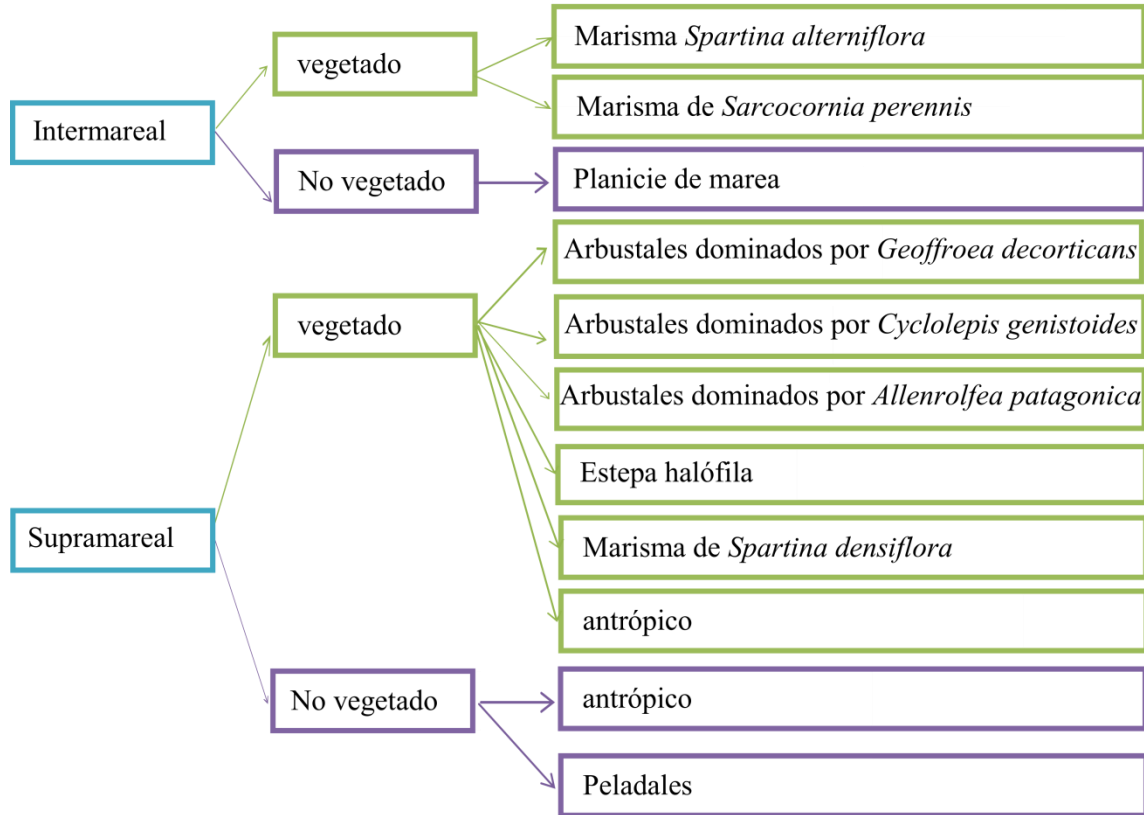
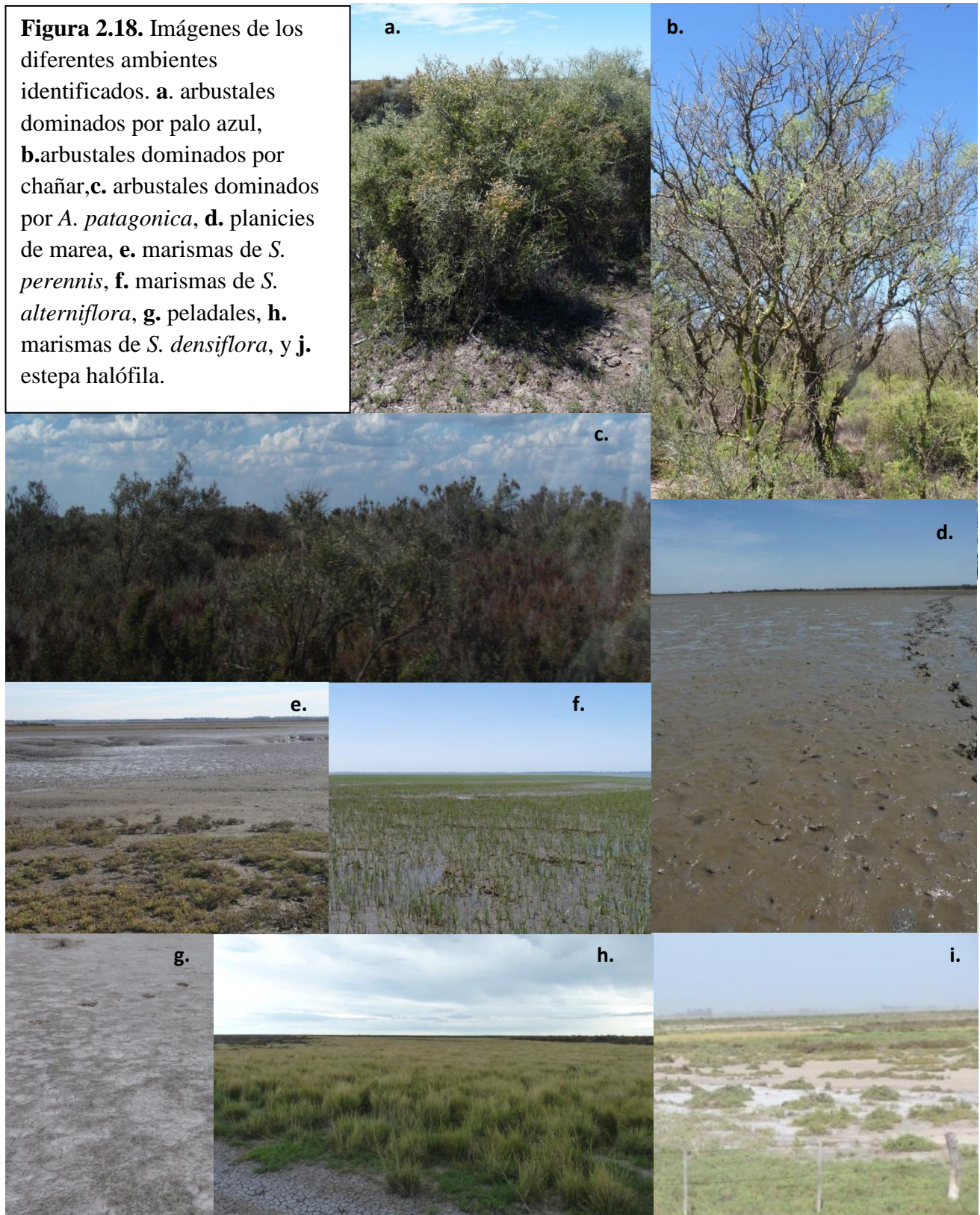


Figura 2.17. Clasificación conceptual.

Figura 2.18. Imágenes de los diferentes ambientes identificados. **a.** arbustales dominados por palo azul, **b.** arbustales dominados por chañar, **c.** arbustales dominados por *A. patagonica*, **d.** planicies de marea, **e.** marismas de *S. perennis*, **f.** marismas de *S. alterniflora*, **g.** peladales, **h.** marismas de *S. densiflora*, y **j.** estepa halófila.



Capítulo 3:

Caracterización hidrológica y geomórfica de las asociaciones vegetales de la zona costera de Bahía Blanca

Capítulo 3: Caracterización hidrológica y geomórfica de las asociaciones vegetales de la zona costera de Bahía Blanca

INTRODUCCIÓN

El paisaje costero de Bahía Blanca

La estructura actual del paisaje costero de Bahía Blanca responde a los cambios en el nivel del mar que ocurrieron durante el Holoceno y a una serie de cambios climáticos complejos que modificaron el caudal y curso de los ríos que desembocaban en el estuario. Durante el último período glacial, en el Pleistoceno tardío, el nivel relativo del mar se encontraba muy por debajo del nivel actual. Hacia el Holoceno temprano, con un aumento progresivo de la temperatura y derretimiento de los hielos, el nivel relativo del mar comenzó a aumentar paulatinamente en el área de estudio. Al mismo tiempo, se registró un aumento de la humedad (Aguirre, 1995) y se incrementó el caudal de los ríos, que aportaban grandes cantidades de material de origen terrestre a la zona estuarial (Melo, 2004).

El nivel del mar continuó aumentando hasta aproximadamente los 6000 años AP, según las edades ^{14}C de depósitos que indican el máximo transgresivo en el área de Bahía Blanca. Durante esta etapa, un nivel del mar en ascenso habría re TRABAJADO el material de origen fluvial formando planicies de marea, cordones y espigas. En el veril norte del Canal Principal, González (1989) describe depósitos clástico-conchiles en una sucesión de cordones y planicies de marea de edad holocena. El depósito más antiguo y elevado es una espiga compuesta por varios cordones de conchillas, ubicados en la zona interna del Canal Principal. De acuerdo a las edades ^{14}C informadas, se distinguen al menos cinco episodios transgresivos, que ocurrieron entre los 5990 ± 115 y los 3560 ± 100 años AP. El máximo transgresivo estaría representado por el cordón más elevado y antiguo, ubicado aproximadamente 10 m por encima del nivel del mar actual (González *et al.*, 1983; Aliotta y Farinati, 1990). Hacia la zona media del Canal Principal, los depósitos Holocenos aparecen en la cota entre 6 y 7 metros (Aliotta y Farinati, 1990). En el margen occidental del área afectada por la ingresión marina, en la estancia Verde Erin, Farinati (1983) describe un cordón conchil que se correspondería con un depósito de tormenta e indicaría el máximo transgresivo en una edad ^{14}C de 5406 ± 227 años AP.

Hacia los 3000 años AP se estableció el clima templado árido que perdura hasta la actualidad, favoreciendo la disminución de los cursos hídricos y los ambientes con erosión

eólica. Con un nivel relativo del mar en descenso, los ríos migraron progresivamente hacia el sur hasta abandonar el área estuarial (Melo, 2004).

Teledetección aplicada al estudio de humedales

El uso de sensores remotos ha sido de gran utilidad para realizar inventarios, mapear la composición de especies y estimar propiedades biofísicas en ambientes de humedal (Carter, 1977; Bartlett y Klemas, 1981; Butera, 1983; Hardisky *et al.*, 1986; Gross *et al.*, 1989; Dobson *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 1997; entre otros). Determinar la presencia y extensión de una capa de agua sobre la superficie o cuantificar el contenido de humedad del suelo son tareas especialmente problemáticas en humedales, debido a su inherente heterogeneidad y al difícil acceso que comúnmente presentan los sitios de muestreo. En humedales costeros, además, se suman las mareas y ondas de tormenta, que generan inundación con agua de mar de grandes superficies, en relativamente poco tiempo (Spiers y Finlayson, 1999).

Una primer aproximación incluye determinar la línea de costa o la extensión de agua sobre la superficie. Para detectar y delinear humedales a partir de información satelital se han propuesto una variedad de métodos diferentes. Las clasificaciones supervisada y no-supervisada, tanto de imágenes aisladas como de series temporales, han sido muy empleadas y el uso de otras técnicas como el corte por densidad (“density-slicing”) también ha producido muy buenos resultados (Frazier y Page, 2000). Las imágenes de la serie Landsat resultan adecuadas para este tipo de evaluaciones y han sido muy utilizadas en monitoreos, clasificaciones e inventarios de humedales (Ozesmi y Bauer, 2002). Poseen un tiempo de revisita de 16 días y un tamaño de píxel de 30 metros, características que resultan apropiadas en humedales de extensión moderada. Otra ventaja importante de la plataforma Landsat es que existe una colección de más de 4 décadas de imágenes, que se encuentran disponibles en forma gratuita.

Existen trabajos en los que se caracteriza la zona costera del estuario de Bahía Blanca a través del uso de sensores remotos (Pratolongo *et al.*, 2013; González Trilla, 2010; Mazzon *et al.*, 2009; Isacch *et al.*, 2006; Iribarne *et al.* 2005; Melo, 2004; Angeles, 2001). Utilizando imágenes satelitales Landsat y clasificación supervisada, Isacch *et al.* (2006) determinó la ubicación y extensión de planicies de marea y distintos tipos de marismas de la costa este de Sudamérica. González Trilla (2010) elaboró un mapa de biomasa de *Spartina alterniflora*,

basado en un modelo que relaciona información de campo y satelital. Utilizando técnicas de digitalización en pantalla de imágenes satelitales e información auxiliar (cartas topográficas, fotografías aéreas y relevamientos de campo), se han producido mapas que representan las unidades morfológicas y las cuencas hídricas de la región (Melo, 2004). También se han estudiado los cambios en la cobertura de distintos tipos de marismas, a través de mapas obtenidos a partir de la digitalización de fotografías aéreas pancromáticas e imágenes de Google Earth (Pratolongo *et al.*, 2013; Mazzon *et al.*, 2009).

Además de los trabajos basados en el uso de sensores remotos, para elaborar los mapas que se presentan en este capítulo se contó con información cartográfica proveniente del mapa de vegetación basado en la hoja del IGM 3963-17 Bahía Blanca (Lamberto, 1981) y con un mapa realizado por González de Uriarte (1989) en el que se refleja la historia geomorfológica del lugar. En este último mapa se identifica un paleonivel marino ubicado entre las cotas de 10 y 4 m. Krüger (1989) distingue a su vez, en coincidencia con este paleonivel, un nivel que denomina “Planicie Marina Antigua” y describe un segundo nivel localizado entre los 3 y 1,5 msnm, al que llama “Planicie Marina Reciente”. Este segundo nivel presenta una suave pendiente que constituye la transición hacia la Planicie Marina Actual, compuesta por planicies de marea, canales y marismas afectadas por la dinámica estuarial moderna.

Objetivo:

Utilizar imágenes satelitales de la serie Landsat y curvas de nivel digitalizadas a partir de cartas topográficas (IGM), integradas en un entorno SIG, para elaborar el mapa geomorfológico, el mapa de condición hidrológica y el mapa de vegetación del área de estudio. Realizar una caracterización hidrogeomórfica de los ambientes costeros de Bahía Blanca.

Se pretenden responder las siguientes preguntas:

1- ¿Cuáles son las unidades geomorfológicas que se pueden identificar visualmente sobre una imagen? ¿Cómo varía la elevación del terreno entre y dentro de las unidades? ¿Cómo varía la profundidad de la capa de agua subterránea en las diferentes unidades?

2- ¿Cuál es la extensión del área afectada por mareas? En la zona supramareal, ¿cómo varían los estados de saturación del suelo (suelo seco, saturado o inundado) ante condiciones climáticas contrastantes desde el punto de vista de las precipitaciones? ¿Pueden distinguirse patrones de respuesta típicos de cada unidad?

3- Considerando la clasificación jerárquica previamente elaborada, ¿cuáles son las asociaciones vegetales que se pueden identificar a partir de técnicas de clasificación numérica de imágenes Landsat? ¿Cómo se distribuyen en el espacio las asociaciones vegetales identificadas y cuál es su relación con las diferentes condiciones hídrológicas y unidades geomorfológicas?

METODOLOGÍA

Procesamiento de las imágenes satelitales

Se utilizaron un total de 11 imágenes Landsat TM y ETM+ con diferentes fechas de adquisición (Tabla 3.1). Como primer paso en la cadena de procesamiento, cada imagen fue corregida geoméricamente y georreferenciada en el sistema Posgar 94, utilizando 30 puntos de control. Las bandas térmicas no fueron utilizadas y se removieron al comienzo del procesamiento. A fin de obtener los valores de reflectancia de la superficie correspondientes a cada pixel en cada una de las bandas ópticas se realizó una serie de correcciones radiométricas y atmosféricas.

Para corregir radiométricamente las imágenes Landsat ETM+, en primer lugar se calcularon los valores de radiancia para cada banda a partir de la siguiente fórmula:

$$L_{sen} = ND * gain + offset, (3.1)$$

donde

L_{sen} = radiancia recibida en el sensor ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)

ND = valor de conteo registrado por el sensor

gain y offset = valores de calibración del sensor para la banda correspondiente.

En forma general, la relación entre las radiancias recibidas en el sensor para una banda determinada y las reflectancias de la superficie se expresa con la siguiente ecuación:

$$\rho_{sup} = \frac{\pi * TS_{dist}^2 * (L_{sen} - L_{disp})}{TAU_{v} * (E_0 * \cos(TZ) * TAU_z + E_{down})} (3.2)$$

donde

ρ_{sup} = reflectancia de la superficie

L_{disp} = radiancia debida a la dispersión en aerosoles y moléculas ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)

E_0 = irradiancia solar exoatmosférica ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)

TZ = ángulo zenital solar

E_{down} = irradiancia difusa que llega a la superficie debido a la dispersión del flujo solar en la atmósfera ($\text{W m}^{-2} \text{um}^{-1}$)

TS_{dist} = corrección para la distancia Tierra-Sol calculada según:

$$TS_{dist} = 1 - 0,0167 * \cos (2 * \pi * (\text{día juliano} - 3) / 365) \quad (3.3)$$

TAU_v = transmitancia atmosférica para los rayos que viajan desde la superficie hacia el sensor calculada como:

$$\mathbf{TAU}_v = e^{(-\tau / (\cos (T_v))} \quad (3.4)$$

TAU_z = transmitancia atmosférica para los rayos que viajan desde el sol hasta la superficie calculada como:

$$\mathbf{TAU}_z = e^{(-\tau / (\cos (T_z))} \quad (3.5)$$

donde

τ = espesor óptico de la atmósfera para una longitud de onda determinada

T_v = ángulo de observación. Para sistemas de observación nadiral, como Landsat, $T_v = 0$ y por lo tanto se puede considerar $\mathbf{TAU}_v = 1$.

El modelo de corrección atmosférica utilizado en este trabajo utiliza información proveniente de la imagen y pertenece al grupo de metodologías de sustracción de objeto negro (DOS, por sus siglas en inglés) (Chávez y Mackinnon, 1994). Estos modelos consideran el supuesto básico de que existen píxeles oscuros en la escena cuya reflectancia es nula. Si el sensor recibe radiancia proveniente de estos píxeles, se trata de la radiancia debida a la dispersión por moléculas y aerosoles atmosféricos y debe ser restada a los valores de radiancia de toda la escena. Sin embargo, debido a que existen muy pocos objetos absolutamente negros en la superficie terrestre se asume que los píxeles oscuros de una imagen corresponden a una reflectancia de la superficie de 0,01 (Chávez, 1988). Por lo tanto, si tenemos en cuenta la

ecuación (3.2) se puede calcular la radiancia recibida en el sensor correspondiente a una reflectancia en superficie del 1% como:

$$L1\% = \frac{(0,01 * E0 * \cos(TZ) * TAUz + E_{down}) * TAUv}{\pi * TS_{dist}^2} \quad (3.6)$$

La radiancia que se recibe en el sensor, proveniente de los píxeles oscuros es L1% más la radiancia que proviene de la dispersión atmosférica. Se puede estimar esta última como:

$$L_{disp} = ND_{osc} * gain + offset - L1\% \quad (3.7)$$

donde ND_{osc} es el valor digital de los píxeles oscuros de la escena. Los valores ND_{osc} se extrajeron a partir de los histogramas de frecuencias de cada banda, considerando el valor que corresponde a una frecuencia acumulada que iguala o supera por primera vez el 0,1% de los píxeles de la escena.

El modelo de corrección atmosférica utilizado en este trabajo es el propuesto por Song *et al.* (2001) que, además de considerar el efecto aditivo de la dispersión en moléculas y aerosoles (L_{disp}) estima TAUz asumiendo una atmósfera Rayleigh, es decir, un espesor óptico debido a aerosoles igual a 0 en 550 nm. Bajo esta aproximación, se calcula el espesor óptico según Kaufman (1993):

$$\tau = 0,008569 * \lambda^{-4} * (1 + 0,0113 * \lambda^{-2} + 0,00013 * \lambda^{-4}) \quad (3.8)$$

donde λ es la longitud de onda en μm . Aplicando estas aproximaciones a la ecuación 3.2 y considerando $E_{down} = 0$ (el modelo no considera el efecto de la irradiancia difusa que llega a la superficie) se obtiene:

$$\rho_{sup} = \frac{\pi * TS_{dist}^2 * (L_{sen} - L_{disp})}{E0 * \cos(TZ) * TAU_{z-ray}} \quad (3.9)$$

donde TAUz-ray se calcula según la ecuación 3.5, reemplazando el valor de τ por el estimado según la ecuación 3.8. Finalmente, para el cálculo de Ldisp (ecuación 3.7) se modifica la ecuación 3.6 de la siguiente forma:

$$L1\% = \frac{0,01 * E0 * \cos(TZ) * TAUz-ray}{\pi * TS_{dist}^2} \quad (3.10)$$

Cross-calibración radiométrica entre Landsat TM y ETM+

Para compatibilizar los valores de radiancia recibida en el sensor en ambas plataformas, se aplicó el método de calibración cruzada propuesto por Teillet (2001). Durante la etapa post lanzamiento de Landsat ETM+ se realizaron adquisiciones “en tándem”, en las que ambos sensores observaban la misma escena en forma simultánea, permitiendo su cross-calibración radiométrica. El enfoque de Teillet (2001) asume que Landsat-5 TM tiene que ajustar su calibración respecto al sensor ETM+ que sería la referencia bien calibrada. Durante el período de configuración en tándem se asume que tanto las características espectrales de la superficie como las condiciones de la atmósfera no cambiaron significativamente entre las dos imágenes adquiridas y este supuesto permitió generar los valores de gain y bias que pueden ser utilizados para la transformación de ND en una imagen Landsat TM a valores de radiancia equivalentes a ETM+.

La ecuación que se utilizó en este caso para transformar los valores de los ND a radiancia fue:

$$L_{sen} = (ND - offset) / Gain \quad (3.11)$$

utilizando los valores de Gain y offset calculados por Teillet (2001) para hacer la calibración cruzada. Una vez obtenidos los valores de radiancia se prosiguió con las correcciones atmosféricas descritas en el punto anterior.

Tabla 3.1. Listado de imágenes utilizadas

Sensor	Path-row	Fecha	Provista por
Landsat 5- TM	227/ 087	19/11/1998	CONAE
Landsat 7- ETM+	226/ 087	15/11/2002	CONAE
Landsat 7- ETM+	227/ 087	22/11/2002	CONAE
Landsat 5- TM	226/ 087	18/04/2004	CONAE
Landsat 5- TM	226/ 087	15/11/2005	CONAE
Landsat 5- TM	226/ 087	07/03/2006	CONAE
Landsat 5- TM	227/ 087	15/04/2006	USGS/EROS
Landsat 5- TM	226/ 087	14/08/2006	CONAE
Landsat 5- TM	226/ 087	02/11/2006	CONAE
Landsat 5- TM	227/ 087	18/02/2009	USGS/EROS
Landsat 5- TM	226/ 087	18/05/2009	CONAE

Mapa geomorfológico

El mapa geomorfológico se realizó utilizando ArcGis 9.2 para generar polígonos correspondientes a las diferentes unidades geomorfológicas y en un paso posterior se generó una capa Raster unificando la información de todos los polígonos. Las diferentes clases se determinaron a partir de cambios topográficos observables en las imágenes satelitales y en los relevamientos de campo, siguiendo la misma nomenclatura de las unidades geomorfológicas descriptas en la bibliografía de base para el área de estudio (González Uriarte, 1984; González, 1989; Krüger, 1989). Se buscaron los límites de cada unidad a través de interpretación visual sobre las imágenes Landsat, en aquellos sectores en los que se podían distinguir con claridad. En los lugares donde no podía identificarse claramente el límite se consideraron las curvas de nivel de 10 m y 5 m, previamente digitalizadas a partir de cartas topográficas del IGM (Tabla 3.2). Este mapa fue utilizado como base para determinar el área y la extensión de los otros mapas.

Tabla 3.2. Listado de cartas topográficas del IGM utilizadas.

Listado de cartas topográficas utilizadas
Hoja 3963-29-2 Faro El Rincón
Hoja 3963-10-3 Estancia Los Chañares
Hoja 3963-10-4 Nueva Roma
Hoja 3963-11-3 Estación La Vitícola
Hoja 3963-16-1 Salinas Chicas
Hoja 3963-16-2 Médanos
Hoja 3963-17-1 Bahía Blanca
Hoja 3963-17-2 Base Aeronaval Comandante Espora
Hoja 3963-16-4 Estación Ombucta
Hoja 3963-17-3 Estancia Los Blancos
Hoja 3963-17-4 Punta Alta
Hoja 3963-23-1 Estancia San Miguel
Hoja 3963-23-3 Estancia El Algarrobo
Hoja 3963-29-1 Estancia Monte Paquete

Nivelación de los perfiles transversales

En primer lugar se generaron 10 puntos “base” en diferentes posiciones a lo largo del gradiente de elevación, desde el límite terrestre del área afectada por la ingresión marina, hasta la planicie de marea actual. Para ello se utilizaron dos unidades de DGPS *Sokkia Radian IS*. La unidad base del DGPS fue colocada en el punto trigonométrico del IGM que se encuentra en el Instituto Argentino de Oceanografía, al mismo tiempo que la unidad Rover se colocó en una de las 10 bases a establecer. Para obtener una base confiable se realizaron mediciones durante al menos una hora por punto. Para determinar latitud, longitud y elevación (con respecto al datum: WGS84) se realizó postprocesamiento con el programa *Spectrum Survey v.4.21*.

Una vez generadas las nuevas bases se realizaron transectas que atravesaran las diferentes unidades geomorfológicas. La unidad Rover del DGPS se mantuvo en todo momento a menos de 5 km de la base, para lograr una mejor precisión. La unidad Rover se utilizó en la modalidad static/kinematic: “stop and go”; la misma permite indicarle al GPS en qué momento comienza cada medición y cuando termina. La posición final de los puntos relevados (latitud, longitud y elevación con respecto al datum WGS84) se determinó por postprocesamiento diferencial a través del programa *Spectrum Survey v.4.21*. En cada punto se realizaron, en paralelo, muestreos

de vegetación, a fin de determinar la pertenencia a cada una de las asociaciones de plantas descritas en el capítulo 2. Para expresar los valores de elevación de los puntos en un marco de referencia relativo al nivel local del mar, se estimó el sesgo entre los valores de elevación referidos al datum WGS84 y los niveles de la marea en el Puerto de Ingeniero White. De este modo, los valores expresados a lo largo del capítulo están referidos a un cero que coincide con el nivel medio de las mareas en el mareógrafo de Ingeniero White. Para corroborar la corrección se realizaron medidas a campo de la elevación correspondiente a la interfase tierra agua (alcance de la marea sobre el terreno) durante la pleamar del día 24 de abril de 2014.

Colocación de los freáticos

En el área de estudio se instalaron un total de 10 freáticos en diferentes posiciones a lo largo del gradiente de elevación, desde el límite terrestre del área afectada por la ingresión marina, hasta la planicie de marea actual (Figura 3.1). Se intentó representar la mayor variedad de ambientes con respecto a la unidad geomorfológica y tipo de vegetación presente. Los freáticos son perforaciones encamisadas con tubos de PVC ranurados, que permiten el libre flujo del agua intersticial al interior de la camisa y permiten medir la profundidad del límite superior de la capa de agua subterránea. Para construir los freáticos se realizaron pozos verticales, con un barreno de 15 cm de diámetro, llegando a una profundidad 30 a 50 cm por debajo de la napa. Para encamisar las perforaciones se utilizaron caños de PVC de 110 mm de diámetro ranurados en toda su superficie. Los caños se insertaron en los pozos, dejando entre 40 y 70 cm sobre la superficie del suelo. Se midió la profundidad del agua cada vez que se fue al campo (entre una y dos veces por mes durante al menos un año). Con esta información se obtuvo el rango de fluctuación de la capa subsuperficial- superficial de agua para cada sitio.



Figura 3.1. Se observa la localización de los freáticos en color celeste.

Mapa de condición hidrológica

Entre las imágenes disponibles se seleccionaron aquellas que corresponden a la marea más alta y a la más baja registrada. Sobre cada una de estas imágenes, por medio de una clasificación no supervisada se generaron 100 clases y a cada una de ellas se le asignó luego valor de agua o de no-agua. Sobre la imagen de marea baja se determinó el sector submareal (canales permanentes) y por diferencia entre ambas imágenes se determinó el sector correspondiente a la franja intermareal. Una vez separadas las dos clases determinadas por el alcance de las mareas, para el resto de la región se utilizaron imágenes correspondientes a períodos climáticos contrastantes con respecto al régimen de precipitaciones. Se enmascaró el área correspondiente a las clases intermareal y canales permanentes y se realizaron clasificaciones no supervisadas, determinando qué clases correspondían a agua o a no-agua, siguiendo el siguiente esquema:

1-seco en período húmedo: Corresponde a la clase identificada como no-agua para período húmedo (imagen correspondiente al 18 de abril de 2004).

2- saturado en período húmedo: Corresponde a la clase identificada como suelo saturado para período húmedo (imagen correspondiente al 18 de abril de 2004).

3-inundado en período húmedo: Corresponde a la clase identificada como agua para período húmedo (imagen correspondiente al 18 de abril de 2004).

4- inundado en período moderadamente húmedo: Corresponde a la clase identificada como agua para período moderadamente húmedo (imagen correspondiente al 15 de noviembre de 2002).

5- inundado en período moderadamente seco: Corresponde a la clase identificada como agua para período moderadamente seco (imagen correspondiente al 14 de agosto de 2006).

6- inundado en período seco: Corresponde a la clase identificada como agua para período seco (imagen correspondiente al 18 de mayo de 2009).

El mapa final, entonces, consta de las seis clases anteriores, correspondientes al sector supramareal, más las siguientes:

7- intermareal: sector entre el límite inferior de la marea y el límite superior de la marea.

8- submareal (canales): sector por debajo del límite inferior de la marea.

Mapa de vegetación

En la Figura 2.17 se presentan las clases que componen el mapa de vegetación. Se utilizó la clasificación jerárquica y conceptual de las asociaciones de plantas descritas en el capítulo 2, que cuenta con 11 clases. Se realizaron máscaras para las diferentes unidades y se realizaron clasificaciones no-supervisadas. A partir de la información de campo, se asignó cada una de las clases generadas en forma automática, a alguna de las asociaciones de plantas consideradas en el esquema de clasificación. Se utilizaron imágenes de diferentes fechas, ya que algunas de las asociaciones resultaban más difíciles de distinguir en algunas imágenes que otras, posiblemente por su estado fenológico.

Finalmente, utilizando la herramienta “Tabulate area” de ArcGis se superpusieron los mapas. La herramienta Tabulate area cruza las áreas entre dos series de datos y el resultado es una tabla que abarca la superficie de cada clase en cada zona.

RESULTADOS

Mapa geomorfológico

El área de estudio abarcó 3553,6 km², de los cuales 1307,5 km² representan los Canales Permanentes, 740,3 km² corresponden a la Planicie Marina Actual y el resto corresponde a otras unidades (Tabla 3.3) no vinculadas en superficie a la dinámica estuarial actual (Figura 3.2). Dentro de estas unidades se incluye:

- la Planicie Marina Antigua, que se corresponde con el paleonivel marino descrito por González Uriarte (1984), con cotas entre los 10 y los 4 msnm.
- la Planicie Marina Reciente, acotada aproximadamente entre los 3 y 1,5 msnm. (Krüger, 1980).
- el Paleovalle de evolución compleja, que contiene al salitral de la Vidriera (González Uriarte, 1984).

Tabla 3.3. Área abarcada por cada unidad en el mapa geomorfológico.

Unidad	Area (km²)
Planicie Marina Antigua	740,30
Planicie Marina Reciente	261,25
Paleovalle	141,10
Planicie Marina Actual	1103,50
Canales	1307,51

El perfil realizado a través de las diferentes unidades se presenta en la Figura 3.2, comienza en la Planicie Marina Antigua, a los 5,4 msnm. Por sobre ese punto está el límite de la transgresión marina del holoceno, representado por depósitos de tormenta que forman un cordón de conchillas sobreelevado. Hacia el Canal Principal, la Planicie Marina Antigua desciende hasta la cota de 4 msnm, aproximadamente. El límite entre la Planicie Marina Reciente y la Planicie Marina Antigua se evidenció en los perfiles topográficos como una pendiente pronunciada entre los 3,6 y 2,8 msnm. La Planicie Marina Reciente se extiende con una suave pendiente hacia la transición con la franja intermareal actual, inundada regularmente por las mareas (dos veces al día).

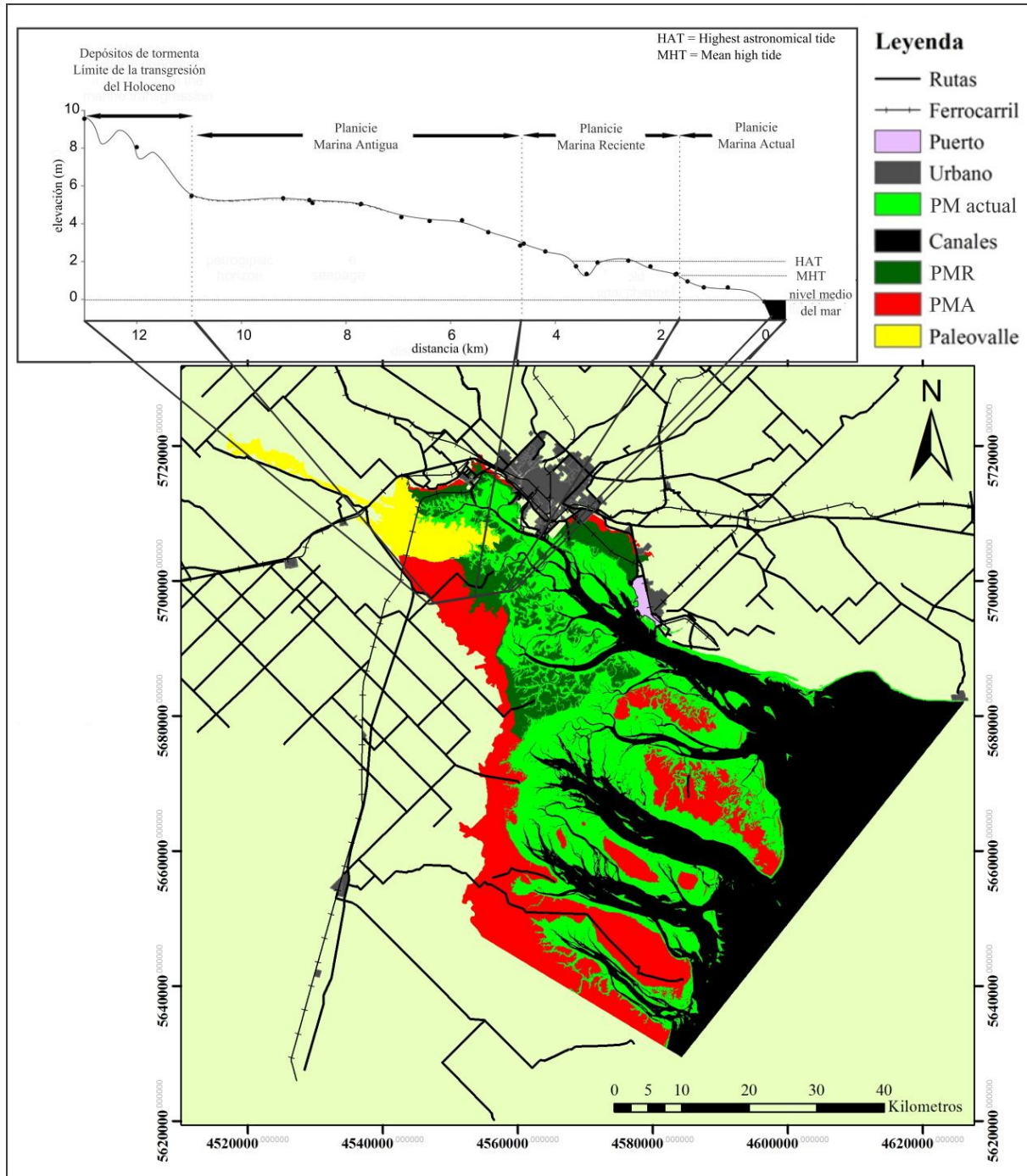


Figura 3.2. Mapa geomorfológico, en la parte superior se observa el perfil realizado que atraviesa diversas unidades geomorfológicas. PM= “Planicie Marina”, PMR= “Planicie Marina Reciente”, PMA= “Planicie Marina Antigua”.

Mapa de condición hidrológica

El sector submareal y el intermareal coinciden tanto en extensión como en posición con los Canales Permanentes y la Planicie Marina Actual. En la porción supramareal, aproximadamente la mitad de la superficie (543,29 km²) corresponde a ambientes que permanecen secos aún durante períodos húmedos (Tabla 3.4). En el otro extremo del gradiente de humedad, sólo 4,5 km² corresponden a sectores que permanecen inundados aún durante períodos secos (Figura 3.3). El resto de la superficie (547,8 km²) presenta condiciones de saturación o inundación que dependen de las lluvias acumuladas durante el período (Figura 3.4).

Tabla 3.4. Área abarcada por cada condición hidrológica

Condición hidrológica	Area (km²)
seco en período húmedo	543,30
saturado en período húmedo	481,43
inundado en período húmedo	25,50
inundado en período moderadamente húmedo	60,63
inundado en período moderadamente seco	27,29
inundado en período seco	4,51
intermareal	1103,50
canales	1307,51

Se realizaron 12 mediciones en los freáticos, consignando los valores mínimos y máximos para cada pozo (Tabla 3.5). Como dato accesorio se registraron los valores de salinidad en el agua dentro de cada pozo durante la última medición de nivel en octubre de 2013. En los freáticos ubicados en la Planicie Marina Reciente y en la Planicie Marina Actual, el nivel del agua estuvo generalmente cercano a la superficie del suelo, tanto por debajo como por encima de ella (inundado), aunque en algunas ocasiones se registraron profundidades mayores. En la Planicie Marina Antigua el nivel de agua estuvo generalmente a profundidades mayores. En los arbustales de *A. patagónica* presentes en la Planicie Marina Antigua, en algunas ocasiones se registraron valores más cercanos a la superficie. En el freático localizado en el arbustal dominado por *G. decorticans*, también localizado en la Planicie Marina Antigua, el nivel del agua permaneció más profundo que en los otros sitios.

Tabla 3.5. Mediciones realizadas en los freaímetros. Los valores se expresan como profundidad con respecto al nivel del suelo y como elevación con respecto al nivel medio de las mareas. En ambos casos, se presentan los valores máximos y mínimos registrados para el límite superior de la capa de agua. Se incluyen los valores de salinidad para cada pozo, que fueron registrados en dos momentos. PM= “Planicie Marina”, PMR= “Planicie Marina Reciente”, PMA= “Planicie Marina Actual”, xxx= “mayor que la profundidad máxima del pozo” * Valores positivos indican presencia de una capa de agua por encima de la superficie.

Unidad	Tipo de vegetación	Profundidad relativa	Elevación relativa al	Salinidad
		al nivel del suelo *	nivel medio del mar	registrada
		Prof. máxima/ mínima del pozo	Prof. máxima/ mínima del pozo	PPT (‰)
PM actual	planicie de marea	0,07/0,29	0,86/1,08	55-57
PMR	<i>S. densiflora</i> - cerca intermareal	-0,42/0,10	0,85/1,37	25-59
PMR	<i>S. densiflora</i>	-1,16/0,00	0,19/1,35	26
PMR	<i>S. densiflora</i>	xxx/0,06	xxx/1,7	23-30
PMR	<i>S. densiflora</i>	-1,21/0,21	0,33/1,75	9 -25
PMR	Peladal, con matas <i>A. patagonica</i>	xxx/-0,31	xxx/1,8	25-45
PMR	Arbustal <i>A. patagonica</i>	-1,49/-0,53	0,45/1,41	15-41
PMA	Arbustal <i>G. decorticans</i>	-3,25/-2,26	0,92/1,92	55-45
PMA	Arbustal <i>C. genistoides</i>	xxx/-1,64	xxx/3,45	81-69
PMA	Arbustal <i>A. patagonica</i>	-3,05/-1,14	2,34/4,25	40

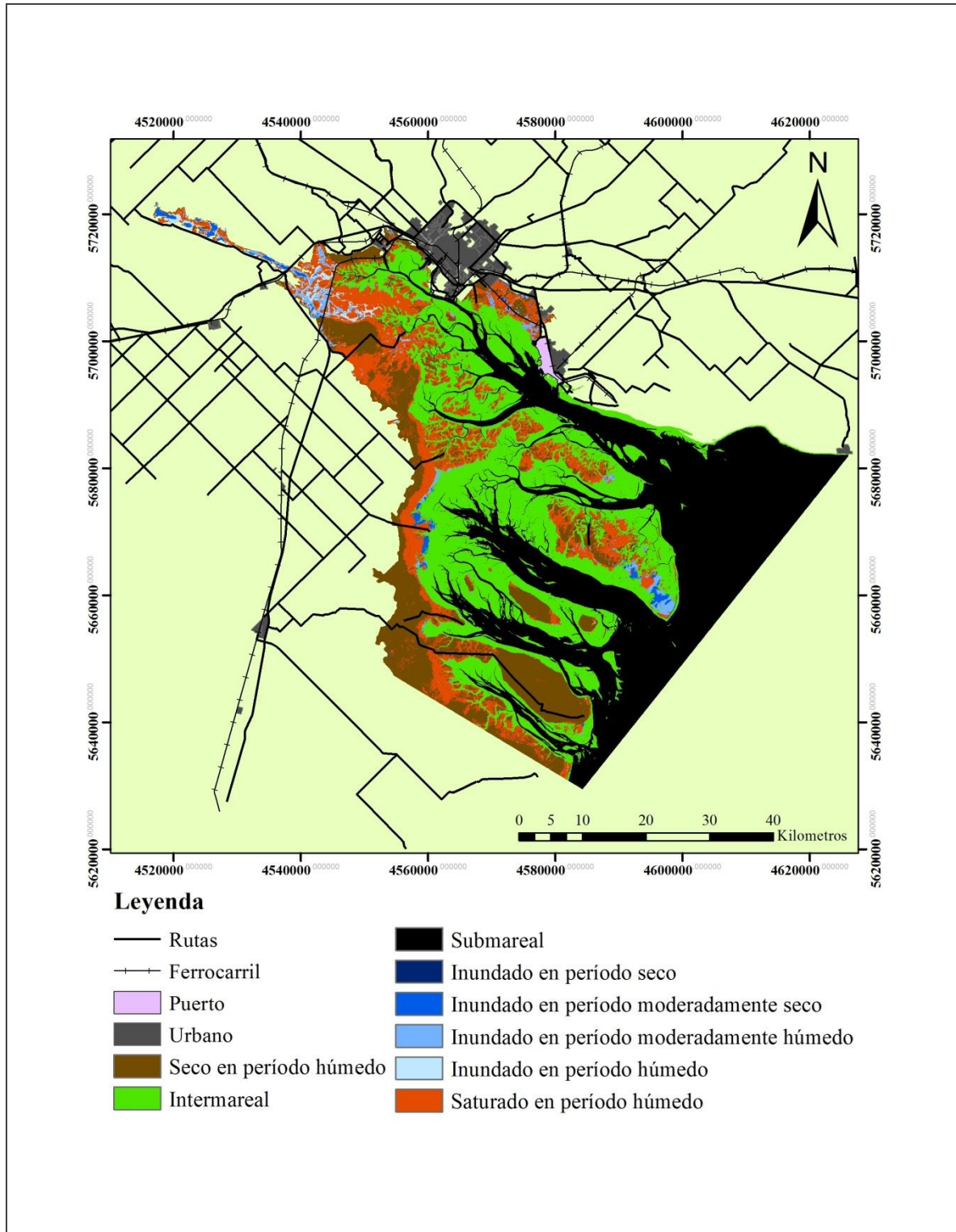


Figura 3.3. Mapa de condición hidrológica

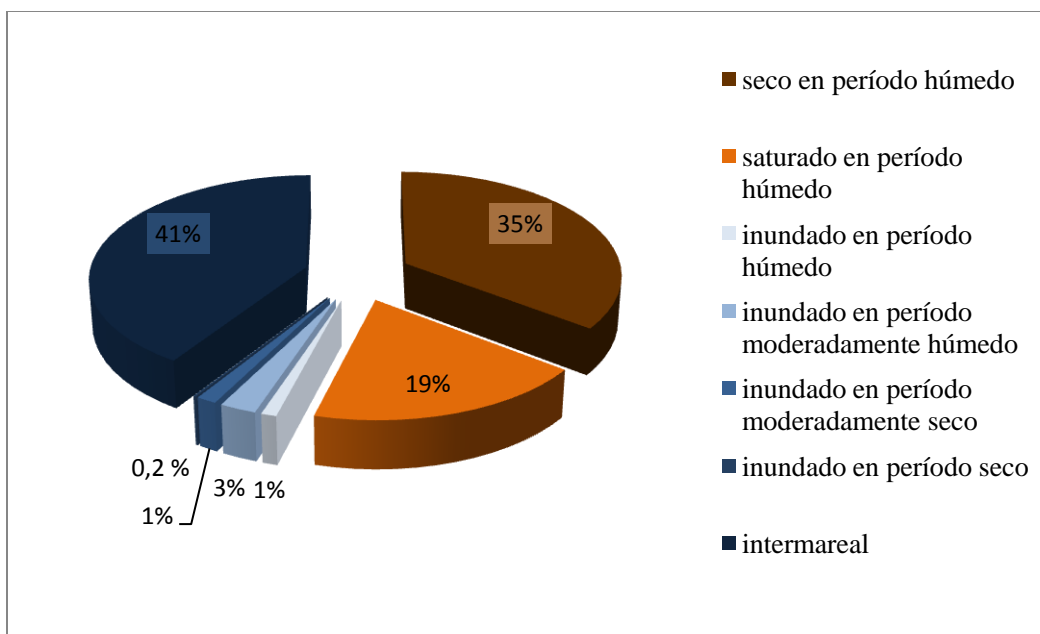


Figura 3.4. Porcentaje de la superficie abarcada por cada clase de inundación, sin considerar el sector submareal.

Mapa de vegetación

El mapa de vegetación se presenta en la Figura 3.5. El sector intermareal está dominado por planicies de marea no vegetadas (840,67 km²), en menor medida se encuentran marismas de *S. alterniflora* (196,13 km²) y marismas de *S. perennis* (72,1 km²). Entre las comunidades naturales del sector supramareal se pueden observar diversas asociaciones de arbustales y estepa halófila, además de ambientes no vegetados, que suelen presentar una costra salina en la superficie del suelo (salitrales). La superficie cubierta por cada clase se presenta en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Superficie cubierta por cada clase del mapa de vegetación.

Clase	Area (km ²)	Clase	Area (km ²)
Planicies de marea	835,37	Arbustal <i>A. patagonica</i>	112,58
Marisma de <i>S. perennis</i>	72,07	Arbustal por <i>C. genistoides</i>	258,88
Marisma de <i>S. alterniflora</i>	196,07	Arbustal <i>G. decorticans</i>	133,00
Marisma de <i>S. densiflora</i>	2,75	Antrópico	171,29
Peladales	192,47	Canales	1307,51
Estepa halófila	271,68		

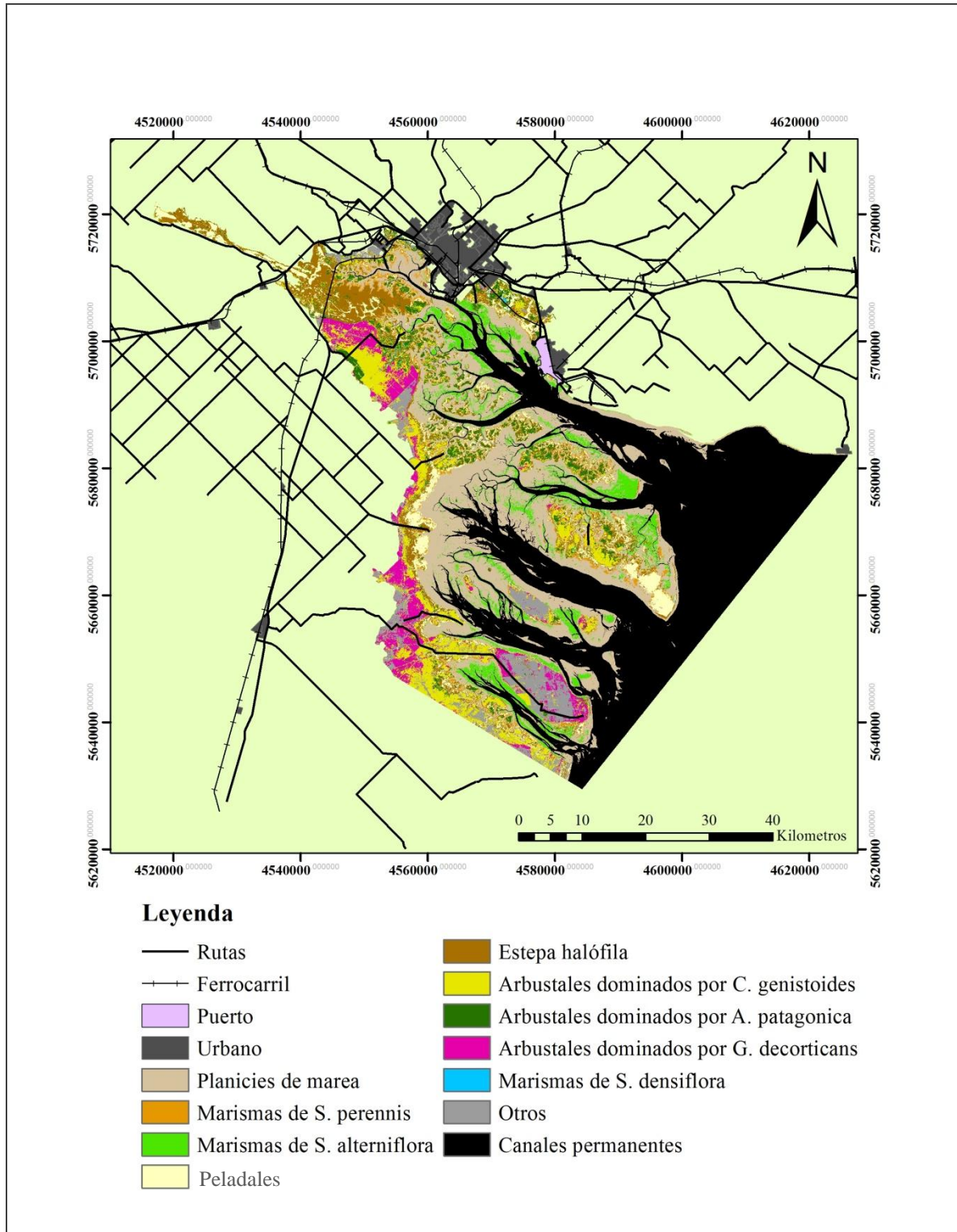


Figura 3.5. Mapa de vegetación.

A lo largo del perfil realizado (Figura 3.6) se observó la presencia de diferentes asociaciones vegetales. En el sector más elevado de la Planicie Marina Antigua, se desarrollan

arbustales dominados por *A. patagonica* hasta los 5,3 msnm, elevación en la que comienza a aparecer *C. genistoides*. A elevaciones menores dentro de esta unidad se encuentran los arbustales de *G. decorticans*. En la Planicie Marina Reciente, por debajo de los 3,5 msnm, la vegetación dominante es un mosaico de arbustales con *A. patagonica* y *C. genistoides*, sectores con suelo desnudo y costras salinas y, cerca del límite de influencia de las mareas, aparece la estepa halófila dominada por *S. perennis* y *H. ritteriana*. En sectores que coinciden con depresiones topográficas se desarrollan marismas de *S. densiflora*, descritas con mayor detalle en el capítulo 4. Por debajo del nivel medio de las pleamares (1,6 msnm) se encontraron marismas de *S. perennis* y planicies de marea sin vegetación.

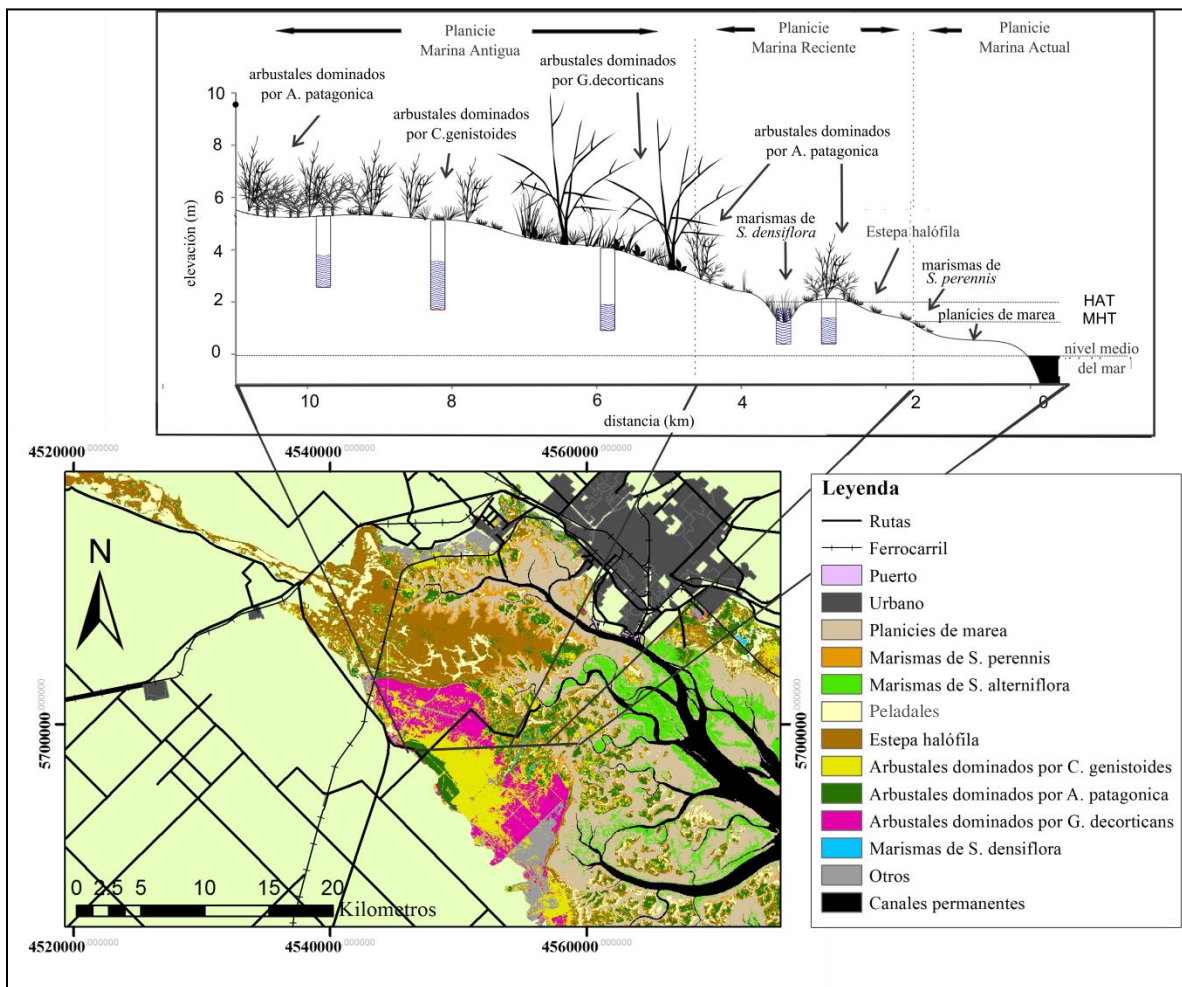


Figura 3.6. Vegetación asociada al perfil realizado. Las barras representan los freáticos y el rango de valores registrados para la posición de la capa de agua. En el caso del freático localizado en el arbustal de *C. genistoides* se tomó como valor más profundo la profundidad total del pozo, pero en varias ocasiones la capa de agua se encontró por debajo de este nivel.

Superposición de los mapas

A partir de la superposición de los mapas de vegetación y de condición hidrológica se observó que la clase arbustales dominados por *G. decorticans* estuvo claramente asociada a los ambientes menos afectados por inundaciones (seco aún en período húmedo) y los arbustales dominados por *C. genistoides* también se ubicaron mayoritariamente en estos sectores. En un gradiente de humedad creciente, los arbustales dominados por *A. patagonica* pueden aparecer en zonas que se saturan con agua o se inundan, dependiendo de las precipitaciones acumuladas. Aunque estos arbustales están asociados a condiciones de mayor humedad, una fracción importante de su superficie fue ocupada por ambientes secos en período húmedo. Los salitrales y la estepa halófila, en cambio, se ubicaron en lugares inundados o saturados durante períodos húmedos y una fracción muy pequeña soporta condiciones de suelo seco aún en períodos húmedos. En el extremo más húmedo del gradiente se ubicaron las marismas de *S. densiflora*. Este tipo de vegetación fue dominante en los sitios que presentan inundación permanente y no se desarrolla en ambientes que presentan suelo seco en forma permanente (Figura 3.7).

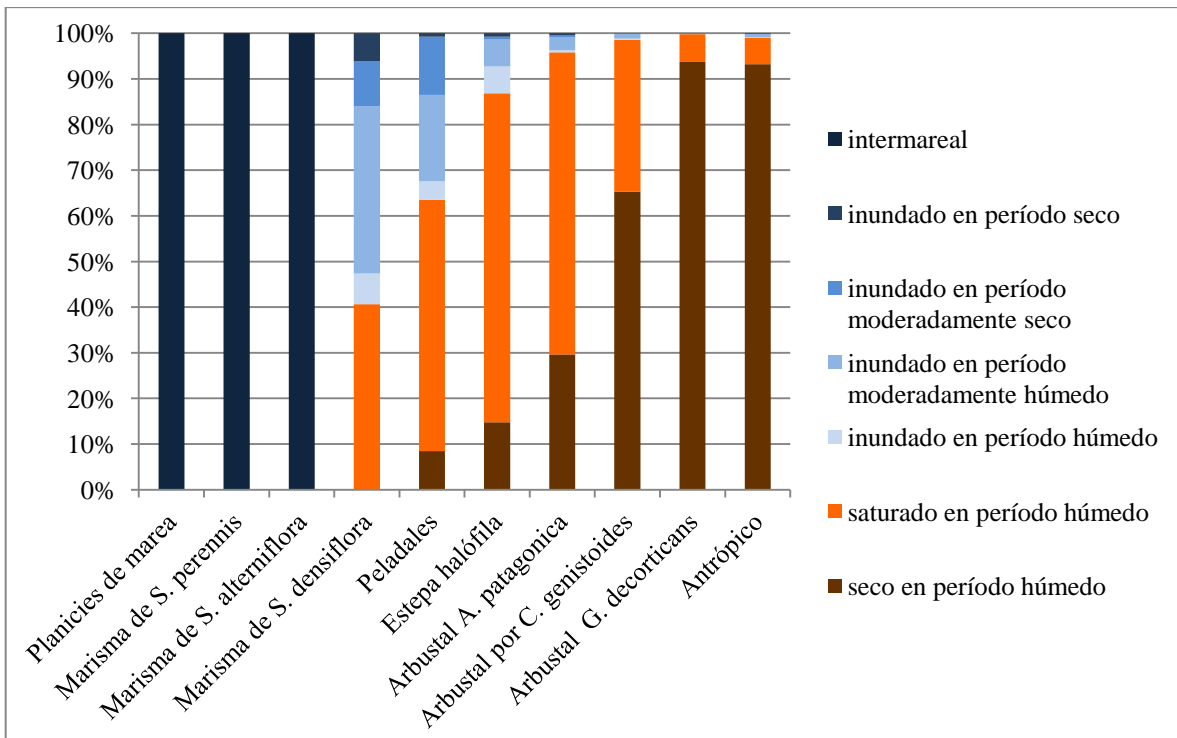


Figura 3.7. Proporción de cada régimen de inundación en las clases analizadas, sin considerar el submareal (canales).

La superposición del mapa geomorfológico con el de condición hidrológica mostró que el Paleovalle es la unidad con mayor superficie sujeta a inundación en período seco, mientras que la Planicie Marina Antigua es la unidad con mayor superficie de suelos secos aún en períodos húmedos (Figura 3.8).

Condición hidrológica de las clases de las unidades

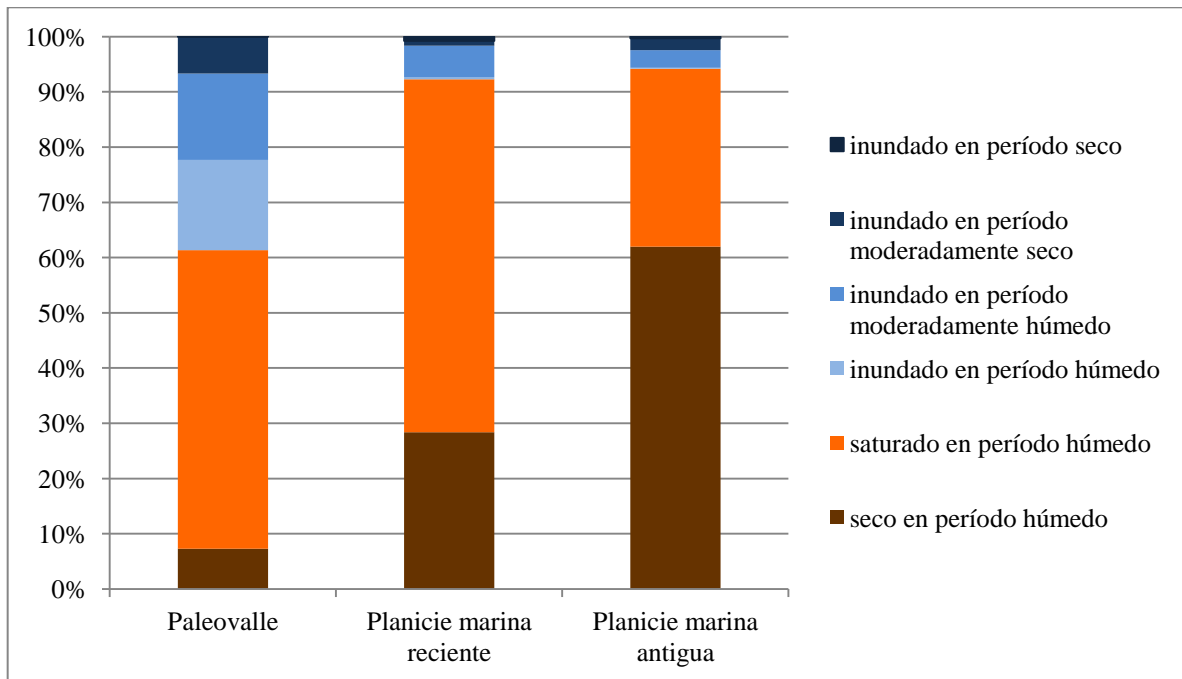


Figura 3.8. Proporción de cada régimen de inundación en las diferentes unidades analizadas, sin considerar el submareal (canales), ni el intermareal (Planicie marina actual).

DISCUSIÓN

En el mapa geomorfológico se identificaron tres unidades que actualmente no estarían afectadas directamente por las mareas. En particular, la Planicie Marina Reciente y el Paleovalle son las unidades de menor elevación y resulta crítico definir los límites de cada una de estas unidades con la Planicie Marina Actual. Como se explicó en la metodología, la Planicie Marina Actual fue delineada a partir de la imagen satelital adquirida durante el nivel de marea más alto registrado en la serie temporal disponible. Esta aproximación tiene la enorme limitación de que el límite de la unidad no refleja necesariamente el alcance real de las mareas. Además, dado que la onda de marea se propaga a lo largo del Canal Principal, las pleamares y bajamares no ocurren en forma sincrónica sobre toda la escena Landsat.

Los relevamientos topográficos realizados permitieron establecer el límite vertical entre la Planicie Marina Reciente y la Antigua en la cota de 4 msnm y el límite entre la Planicie Marina Reciente y la Actual fue fijado arbitrariamente en el valor medio de las pleamares (1,6 msnm), porque este valor se aproximaba al límite establecido en el mapa. Estos valores se corresponden con los descritos por otros autores (González Uriarte, 1989; Krüger, 1989); sin embargo, el valor modelado para la marea astronómica más alta es de 2,0 msnm, por lo que la parte inferior de la Planicie Marina Reciente, según fue delimitada en este mapa, estaría afectada por mareas excepcionales. Debido a estas aproximaciones, la zona considerada como intermareal en este mapa es aquella que se inunda regularmente por mareas (dos veces al día). También podemos encontrar autores que distinguen el intermareal como la zona que se inunda regularmente por las mareas de un sector más elevado al que sólo llegan las mareas de sicigia (Liu *et al.*, 2007). Para superar estas limitaciones, sería interesante contar con un DEM (digital elevation model) del área de estudio, de alta resolución vertical y espacial. Con este tipo de herramientas sería más sencillo encontrar los lugares donde existen cambios de pendiente indicadores de un cambio de unidad, lo que permitiría una mejor delimitación. Además, se podría aumentar el detalle y mapear diferentes depresiones, canales no funcionales y cordones, que se observaron en el campo.

Las clases localizadas en el sector supramareal muestran cómo responde el paisaje a los aportes por precipitaciones. Debido a que era de interés abarcar una escala temporal amplia, en la que se pudieran observar las fluctuaciones de las lluvias, no fue posible verificar a campo los

mapas porque representan lluvias que ocurrieron en el pasado. Este mapa resulta de gran utilidad, pues, excepto en aquellos sectores con inundación permanente, las condiciones hidrológicas observadas fluctúan en el tiempo y permiten el desarrollo de humedales temporarios o intermitentes. Este tipo de humedales resulta particularmente difícil de identificar y delimitar, en especial cuando las observaciones de campo no coinciden con períodos húmedos desde el punto de vista climático. A partir de este mapa, se genera una herramienta que permite localizar geográficamente a aquellas zonas que presentan potencial, desde el punto de vista hidrológico, para el desarrollo de ambientes de humedal (Piovan *et al.*, 2014).

Krüger y Peinemann (1991) describen, para esta misma área, que al acercarse al nivel continental se hacen menores las oscilaciones de la capa de agua subterránea y mayor su profundidad. De acuerdo a las mediciones obtenidas en los freáticos, la profundidad de la capa de agua subterránea fue mayor en la Planicie Marina Antigua que en la Reciente. Sin embargo, en algunos freáticos de esta unidad, ubicados cerca del nivel continental, el nivel del agua presentó fluctuaciones de hasta 2 metros como consecuencia de la lluvia. Considerando que los muestreos se llevaron a cabo durante un período seco, es de esperar que en período húmedo el nivel de agua ascienda aún más. Según un comentario personal del puestero de la Estancia Verde Erin, es común que el sector cubierto por arbustales de *A. patagonica* en la Planicie Marina Antigua, en años lluviosos, presente una capa de agua sobre la superficie. Para los freáticos localizados en las marismas de *S. densiflora* se contó con un registro continuo (capítulo 4). Sería de gran utilidad contar con un registro similar para el resto de los pozos.

En el mapa de vegetación, la superficie mapeada como marismas de *S. perennis* es menor que la informada por Isacch *et al.* (2006). En ese trabajo se describen 206 km² de marismas de este tipo, en lugar de los 72 km² que se reportan en este capítulo. Gran parte de la discrepancia se debe al criterio utilizado para delimitar el alcance de las mareas. En este capítulo, se consideraron marismas de *S. perennis* a aquéllas que se encontraban dentro del área definida como intermareal (regularmente inundadas por la marea), pero por encima del nivel medio de las pleamares y por debajo de la marea astronómica más alta se desarrollan estepas halófilas dominadas por *S. perennis* y *H. ritteriana*. Estas asociaciones no difieren en su firma espectral de las marismas de *S. perennis*, por lo que pudieron ser clasificadas como marismas en el trabajo de Isacch *et al.* (2006) y, de acuerdo a su posición, se pueden considerar marismas altas. Isacch *et*

al. (2006) no consideran dentro del área de estudio al Paleovalle en su totalidad. En este capítulo, la suma del área de estepa halófila en la Planicie Marina Reciente y las marismas de *S. perennis* es de 153 km² y la superficie asciende a 246 km² si se considera también la estepa halófila que ocupa el Paleovalle, valores compatibles con las aproximaciones realizadas en cada trabajo.

Con la superposición de los mapas se pudo detectar que algunas asociaciones predominan bajo ciertas condiciones hidrológicas. Las marismas de *S. densiflora* están en sectores bajos, que pueden ser alcanzados por mareas excepcionales y en períodos húmedos presentan una capa de agua sobre la superficie o suelo permanentemente saturado. La contribución de las precipitaciones al agua subterránea se refleja en los valores más bajos de salinidad para el agua dentro de los freatómetros y la presencia de esta especie en la zona ha sido previamente asociada a sitios con aportes de agua dulce (Pratolongo *et al.*, 2009). En el otro extremo del gradiente de humedad se desarrollan arbustales dominados por *G. decorticans*, en sectores que permanecen secos aún durante períodos húmedos. En estos sectores la capa de agua subterránea se encuentra siempre a más de 2 metros de profundidad, en coincidencia con lo observado por Krüger (1989). Esta mayor profundidad se ha relacionado a un abatimiento local del nivel freático, como consecuencia de la cercanía al límite de la Planicie Marina Antigua y a la textura del subsuelo que es más arenosa (Krüger, 1989).

Los arbustales dominados por *A. patagonica* se presentan tanto en la Planicie Marina Antigua como en la Reciente, principalmente en sectores con saturación de suelo en períodos húmedos, que incluso pueden estar inundados. En particular, en el campo Verde Erin, esta asociación aparece en un sector de la Planicie Marina Antigua afectado por infiltración de agua desde el nivel continental, evidenciada por la formación de un horizonte petrogypsico (Gypsorthid petrogypsico, Krüger, 1989). En la Planicie Marina Reciente, en cambio, esta asociación se encuentra en elevaciones cercanas al límite de las pleamares astronómicas más altas. Además del régimen hídrico, la distribución de esta especie posiblemente esté influenciada por las sales presentes en el suelo. En el capítulo 2 se destaca que estas asociaciones se observan en suelos con mayores conductividades eléctricas en el sobrenadante que otras, como *C. genistoides*, que además se desarrolla en sectores donde el suelo permanece seco o saturado en períodos húmedos. En sectores donde la combinación de régimen hídrico más sales no permiten el desarrollo de la vegetación se desarrollan peladales.

La superposición de los mapas “geomorfológico” y “de condición hidrológica” (Figura 3.8) muestra que tanto el Paleovalle como la Planicie Marina Reciente están dominados por condiciones de inundación o saturación del suelo. Estas unidades se desarrollan a menores elevaciones y se pueden considerar humedales debido al frecuente estado de saturación. En la Planicie Marina Antigua, en cambio, la superficie está dominada por sectores que presentan suelo seco aún en período húmedo, aunque también hay sectores de suelo frecuentemente inundado o saturado, en especial durante períodos húmedos. Aunque tienen escasa representación espacial, estos ambientes son potenciales humedales temporarios, caracterizados por una inundación intermitente e irregular y suelos con muy altas salinidades. Debido a su naturaleza pulsante y efímera, estos “humedales secos” (dry end wetlands) representan un verdadero desafío para su identificación (Cintron-Molero y Schaeffer Novelli, 2002).

Capítulo 4

Caracterización del régimen de inundación de una marisma de *Spartina densiflora*

Capítulo 4. Caracterización del régimen de inundación de una marisma de *Spartina densiflora*

INTRODUCCIÓN

El género *Spartina*, perteneciente a la familia de las Poaceas, reúne algunas de las especies de plantas más representadas en las marismas a lo largo del mundo (Mitsch y Gosselink, 1993). Especies de este género aparecen como dominantes, o al menos están presentes en marismas del norte de Europa, noreste y oeste de Norteamérica, este de Asia, Australia y Sudamérica (Chapman, 1974; Adam, 1990). En Argentina se observan varias especies pertenecientes a este género, dos de las cuales son dominantes en las marismas costeras: *S. alterniflora* y *S. densiflora*. La *S. alterniflora* se desarrolla en las marismas bajas, mientras que *S. densiflora* se encuentra en sectores más altos de las mismas (Vicari *et al.*, 2002).

La *S. densiflora* se considera una especie nativa de Sud América, ampliamente distribuida a lo largo de marismas de climas templados del Sur de Brasil, Uruguay, Argentina y en la costa chilena, lugar donde fue originalmente descrita (Bortolus, 2006; Fortune *et al.*, 2008). Más allá de su distribución natural, la especie ha sido registrada en Europa, Norteamérica y en el Norte de África (Bortolus, 2006). Su plasticidad fisiológica le permite invadir una gran variedad de ambientes intermareales y terrestres, en zonas con diferentes niveles de salinidad y diferentes tipos de sustrato e incluso puede crecer en zonas intermareales o terrestres (Nieva y Luque, 1996; Kittelson y Boyd, 1997; Vicari *et al.*, 2002; Bortolus, 2006).

En la provincia de Buenos Aires, las marismas de *S. densiflora* alcanzan su mayor extensión en Bahía Samborombón (Cagnoni, 1999), donde ocupan 26,314 ha (Isacch *et al.*, 2006). Las marismas de *S. densiflora* de la laguna costera Mar Chiquita han sido muy estudiadas (Issach *et al.*, 2006; González Trilla *et al.*, 2013), y también se han descrito marismas de *S. densiflora* asociadas a la planicie de inundación del río Paraná (Vicari *et al.*, 2002). En Bahía Blanca, las marismas puras de esta especie tienen escaso desarrollo (Figura 4.1), pero aparecen ocasionalmente en zonas de transición entre *S. alterniflora* y *Sarcocornia perennis*, especialmente en lugares asociados a descargas de agua dulce temporarias o permanentes (Pratolongo *et al.*, 2009).

Spartina densiflora presenta propagación tanto asexual como sexual (Nieva y Luque, 1996). Debido a que la reproducción sexual no ha sido considerada un mecanismo importante en la propagación en otras especies del género (Mobberley, 1956; Adam, 1990, Mitsch y Gosselink, 2000; Pennings y Bertness, 2001), existen pocos estudios sobre la germinación de esta especie. Algunos autores mencionan el establecimiento de *S. densiflora* a través de plántulas (Kittelson y Boyd, 1997; Nieva y Luque, 1996). Mateos Naranjo (2008), sin embargo, estudió el establecimiento experimental de la especie en España y concluyó que, si bien se observa germinación de semillas, las plántulas no se establecen bien y el éxito de la especie está mediado por propágulos vegetativos y crecimiento clonal. En algunos experimentos de germinación se han obtenido porcentajes elevados de germinación (entre 56,22 % \pm 8,21 % y 68,89 % \pm 8,79 %; Nieva y Luque, 1996) sin embargo estos porcentajes han sido calculados sobre semillas sanas y maduras, que representan menos del 10 % del pool total (Bortolus, 2001; Nieva y Luque, 1996).

De acuerdo a los resultados presentados en el Capítulo 2, *S. densiflora* apareció como especie dominante, a veces asociada a *Sarcocornia perennis* o a otras especies con menor abundancia como *Limonium brasiliense*. Las muestras de suelo extraídas en sitios con *S. densiflora* presentaron un elevado porcentaje de materia orgánica y la conductividad eléctrica del sobrenadante fue muy variable, con algunos valores muy bajos y otros más elevados. A partir de los mapas realizados en el Capítulo 3, se pueden observar marismas de *S. densiflora* creciendo en sectores que presentan suelo saturado o inundado en períodos más húmedos (Figura 3.7), y que coinciden con depresiones topográficas.

La altura de la capa de agua cercana a la superficie y sus variaciones a lo largo del año son factores determinantes de la ecología de los humedales (Baker *et al.*, 2009). La hidrología superficial y subsuperficial condiciona y mantiene la distribución de las plantas (Thibodeau *et al.*, 1998) y puede influir no sólo la zonación de las especies vegetales, sino también las variaciones espaciales en su productividad (Gardner *et al.*, 2002). En un estudio realizado en Crabhaul Creek (Carolina del Norte, Estados Unidos), se utilizaron piezómetros para determinar los flujos de agua. Se determinó que para la marisma alta, tanto la evapotranspiración como las precipitaciones fueron las fuentes de variación más importantes, mientras que en menor medida se observó la influencia de la marea. En las marisma baja, en cambio, la marea se vuelve la fuerza dominante, enmascarando los efectos de las precipitaciones y la evapotranspiración

(Gardner *et al.*, 2002). En Argentina se han estudiado las fluctuaciones en el nivel del agua, la electroconductividad y la temperatura en una transecta en la marisma de playa Fracasso en el Golfo de San Jose y se detectó que las oscilaciones estaban asociadas con la marea (Alvarez *et al.*, 2015).

Objetivo:

Analizar la influencia de la lluvia y de las mareas en el régimen de inundación de las marismas de *S. densiflora* que se desarrollan en las depresiones correspondientes a antiguos canales de marea, en la unidad caracterizada como Planicie Marina Reciente.

Se pretende responder las siguientes preguntas:

1-¿Cómo se relacionan los perfiles topográficos con la distribución de la vegetación y la salinidad de los suelos en los canales en los que se desarrollan las marismas de *S. densiflora*?

2- ¿Cómo fluctúa el nivel de agua superficial y subsuperficial a lo largo del canal?
¿Cómo se relacionan esas fluctuaciones con el régimen de precipitaciones y con las mareas?

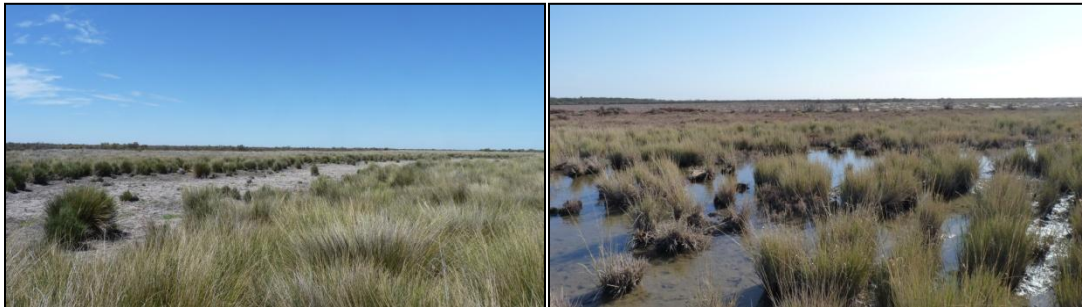


Figura 4.1. Canales donde se desarrolla una marisma de *S. densiflora*, durante período seco (a), y período lluvioso (b).

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio está localizada en el campo verde Erin, en el veril sur del estuario de Bahía Blanca. Sobre la geoforma correspondiente a la Planicie Marina Reciente, en depresiones que corresponden a antiguos canales de marea se desarrollan densas marismas de *S. densiflora* (Krüger, 1989). Para el desarrollo de los objetivos planteados en este capítulo se seleccionaron tres de estos canales, cuya ubicación se señala en la Figura 4.2.

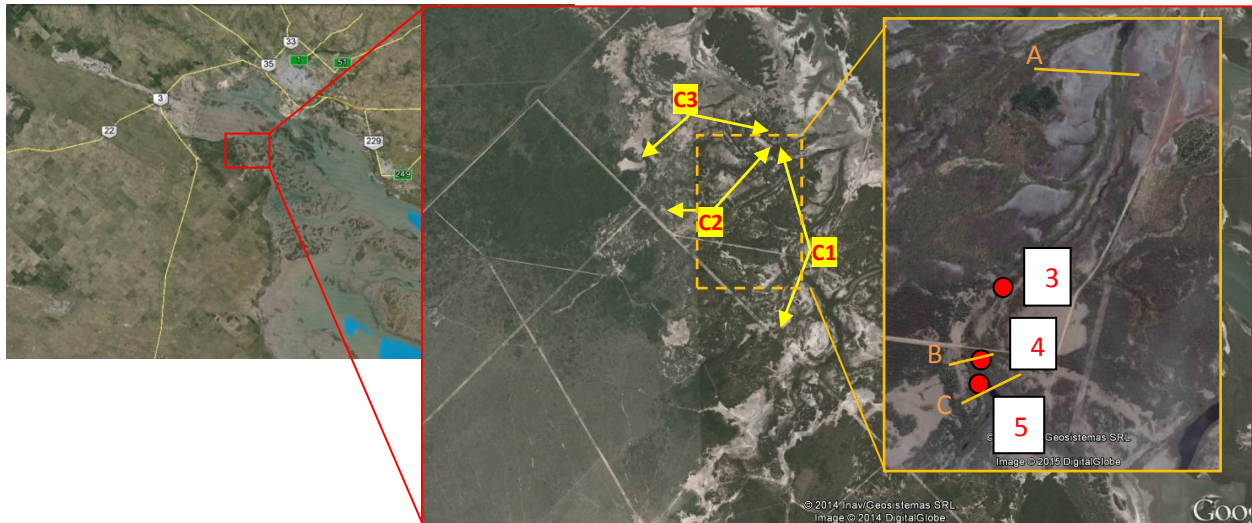


Figura 4.2. Localización de las marismas de *S. densiflora* sobre las que se realizaron los estudios. Las letras C1, C2 y C3 representan la posición de los canales no funcionales. Las líneas naranjas representan la posición de los perfiles realizados y los puntos rojos las posiciones de los pozos que se monitorean. *Fuente de la imagen: Google Earth.*

Nivelación de los perfiles transversales

Sobre el canal C1 se realizaron perfiles transversales (Figura 4.2) registrando variaciones del nivel vertical y horizontal y la vegetación asociada. Se utilizaron dos unidades de DGPS *Sokkia Radian IS*. La unidad base del DGPS fue colocada a una distancia menor a 5 km para lograr una mejor precisión de los satélites. El punto utilizado como base fue generado en una ocasión previa (ver Capítulo 2). La unidad Rover se utilizó en la modalidad “static/kinematic”:

“stop and go”; que permite indicarle al GPS en qué momento comienza cada medición y cuándo termina. La posición final de los puntos relevados (latitud, longitud y elevación con respecto al datum WGS84) se determinó por postprocesamiento diferencial a través del programa *Spectrum Survey v.4.21*. Para expresar los valores de elevación de los puntos en un marco de referencia relativo al nivel del mar en nuestra zona, se estimó el sesgo entre los valores de elevación referidos al datum WGS84 y los niveles de la marea en el Puerto de Ingeniero White. De este modo, los valores expresados están referidos a un cero que coincide con el nivel medio de las mareas en el mareógrafo de Ingeniero White. Para corroborar la corrección se realizaron medidas a campo de la elevación correspondiente a la interfase tierra agua (alcance de la marea sobre el terreno) durante la pleamar del día 24 de abril de 2014. En cada punto se realizaron, en paralelo, muestreos de vegetación registrando las especies dominantes y su cobertura, a fin de determinar la pertenencia a cada una de las asociaciones de plantas descriptas en el Capítulo 2.

Fluctuaciones en la capa superficial-subsuperficial de agua

Las fluctuaciones de la capa de agua fueron medidas en tres freáticos, ubicados a lo largo del canal C1 (Figura 4.2). Los freáticos son perforaciones encamisadas con tubos de PVC ranurados, que permiten el libre flujo del agua intersticial al interior de la camisa y permiten medir la profundidad del límite superior de la capa de agua subterránea (ver: Capítulo 2). Para construir los freáticos se realizaron pozos verticales en el área de estudio, con un barreno de 15 cm de diámetro, llegando a una profundidad 30 a 50 cm por debajo de la napa. Para encamisar las perforaciones se utilizaron caños de PVC de 110 mm de diámetro ranurados en toda su superficie. Los caños se insertaron en los pozos, dejando entre 40 y 70 cm sobre la superficie del suelo. En el fondo de cada uno de los freáticos se colocó un sensor de presión con compensación por cambios en la presión atmosférica, y se calibró de manera tal que la presión de la columna de agua se tradujera a centímetros de agua sobre el sensor. La información se registró en una tarjeta de memoria que guardaba un dato cada 10 minutos. Para comparar el registro obtenido con las precipitaciones se utilizó la información provista por el INTA-RIAN para la estación meteorológica Teniente Origone. Los valores de altura de la marea se obtuvieron del mareógrafo de Ingeniero White, operado por el Servicio de Hidrografía Naval.

Caracterización de la vegetación, humedad y salinidad del suelo

Para complementar la información se realizaron muestreos tendientes a caracterizar las variaciones en la composición de especies y la altura de las plantas de *S. densiflora* a lo largo de los canales C1, C2 y C3. En cada canal se ubicaron 7 sitios de muestreo, cada uno a 200 m del anterior, desde el límite inferior de la marisma, en el extremo más expuesto a las mareas, hacia elevaciones mayores dentro del canal. De manera simultánea al muestreo de vegetación se tomaron muestras superficiales de suelo (1,5 cm) en las que se analizó el porcentaje de humedad y la conductividad eléctrica. Las muestras fueron conservadas en doble bolsa hermética y trasladadas de inmediato al laboratorio, en donde se registró el peso húmedo. El peso seco de las muestras se determinó luego de secarlas en estufa a 65 °C hasta obtener peso constante. El porcentaje de humedad se calculó como:

$$\% \text{ Humedad} = (\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) / \text{peso húmedo} * 100 \quad (4.1)$$

Para estimar la conductividad eléctrica se obtuvo un extracto acuoso de suelo seco y agua destilada (1:5). Luego de una hora de agitación se centrifugó el extracto y se determinó la conductividad del sobrenadante con un analizador multiparámetros Horiba U-10.

RESULTADOS

Nivelación de los perfiles transversales

Se realizaron tres perfiles transversales (Figura 4.3). En sitios ubicados a elevaciones mayores a $2,01 \text{ m} \pm 0,04 \text{ m}$ (promedio \pm desvío estándar, $n = 5$), se observaron arbustales dominados por *C. genistoides* y al descender el nivel hay salitrales hasta los $1,88 \text{ m} \pm 0,12 \text{ m}$ (promedio \pm desvío estándar, $n = 5$). Los salitrales son zonas desprovistas de vegetación que frecuentemente muestran polígonos de desecación y costras salinas. En estos ambientes aparecen matas de *A. patagonica* formando pequeñas islas vegetadas. Aunque no fueron registradas en ninguna transecta, también se observaron matas de *H. ritteriana* en este sector. Al disminuir la elevación, por debajo de los salitrales, se presenta una franja de *S. perennis* (sola o asociada a otras especies como *L. brasiliense*) que se extiende hasta los $1,76 \text{ m} \pm 0,17 \text{ m}$ (promedio \pm desvío estándar, $n = 6$), donde comienza a dominar *S. densiflora*. Cuando el nivel disminuye por debajo de $1,46 \text{ m}$ se observan peladales (zonas desprovistas de vegetación pero con escaso desarrollo de costras salinas) que permanecen inundados luego de lluvias fuertes, aún durante períodos secos. En el perfil realizado más cerca del extremo más afectado por la marea, los límites de ocurrencia de las comunidades estuvieron a una elevación inferior que el resto. Así es que en el perfil “A”, el límite superior de la *S. densiflora* se observa apenas por encima del nivel medio de las pleamares. A esta altura aparece *Sarcocornia perennis* y los arbustales están por debajo de la marea más alta registrada.

De acuerdo a las mareas registradas para el mes de febrero de 2013 se puede apreciar que una parte de las marismas se encuentra bajo el nivel de la marea en varias ocasiones a lo largo del mes, pero raramente la marea excede el límite superior de la marisma (Figura 4.4).

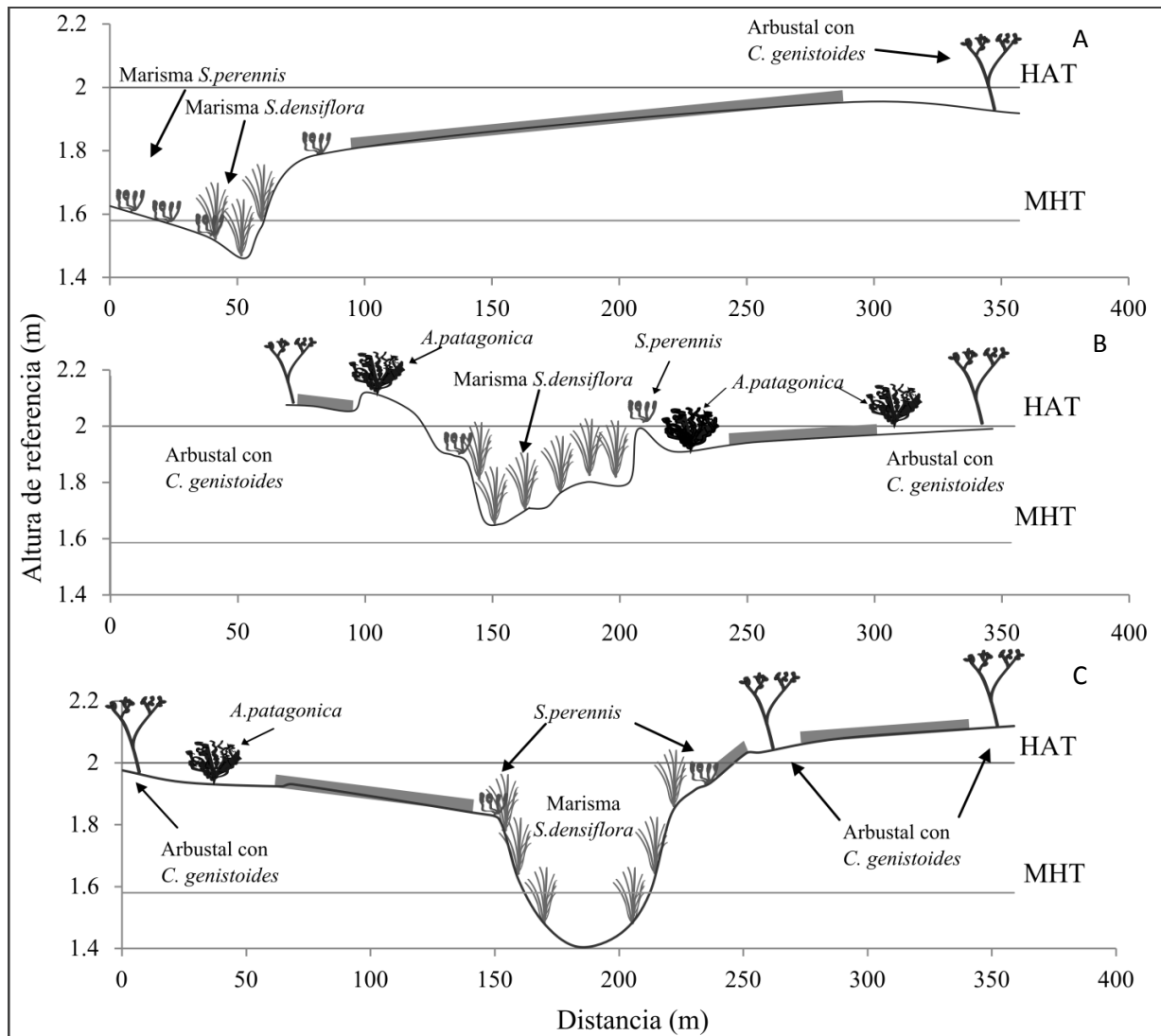


Figura 4.3. Perfiles transversales al canal de *S. densiflora*.

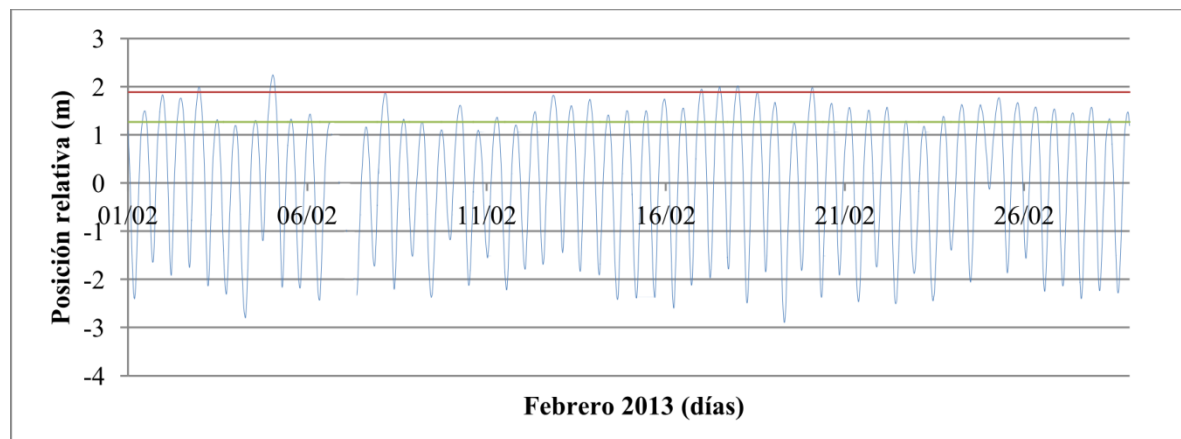


Figura 4.4. Posición vertical del límite inferior (verde) y superior (rojo) de las marismas de *S. densiflora* con respecto a la altura de las mareas registradas en el mareógrafo de Ing. White en febrero de 2013 (celeste). Todas las alturas están referidas al nivel medio de las mareas.

Fluctuaciones en la capa superficial-subsuperficial de agua

Los niveles registrados en los 3 freaómetros entre el 03/02/2013 y el 26/05/2013 se presentan en la Figura 4.5. La variación inicial fue similar a la final. El pozo 3 fue el que permaneció durante más tiempo con un nivel de la capa de agua por encima de la superficie del suelo, lo que resulta coherente con su posición a una menor elevación. En los pozos medidos no se observaron oscilaciones características de la marea.

Aumentos del nivel

Se observó un gran número de aumentos de nivel a lo largo del período registrado, estos incrementos coincidieron con eventos de lluvia (Figura 4.5). Las precipitaciones se reflejan con claridad en los niveles de los freaómetros: cada vez que ocurre un evento de lluvia el nivel freático presenta un marcado aumento. Por ejemplo, el día 28/02/2013, donde para la estación de Teniente Origone hay registrado 28 mm de lluvia, el aumento del nivel del pozo 3 fue de 48,2 cm. Para el día siguiente se mantiene un ritmo similar cuando al llover 25 mm se modifica el nivel 44,2 cm. Si bien las curvas se superponen en gran parte de su extensión, se observó que el pozo 4 aumentaba considerablemente más su nivel que los otros dos.

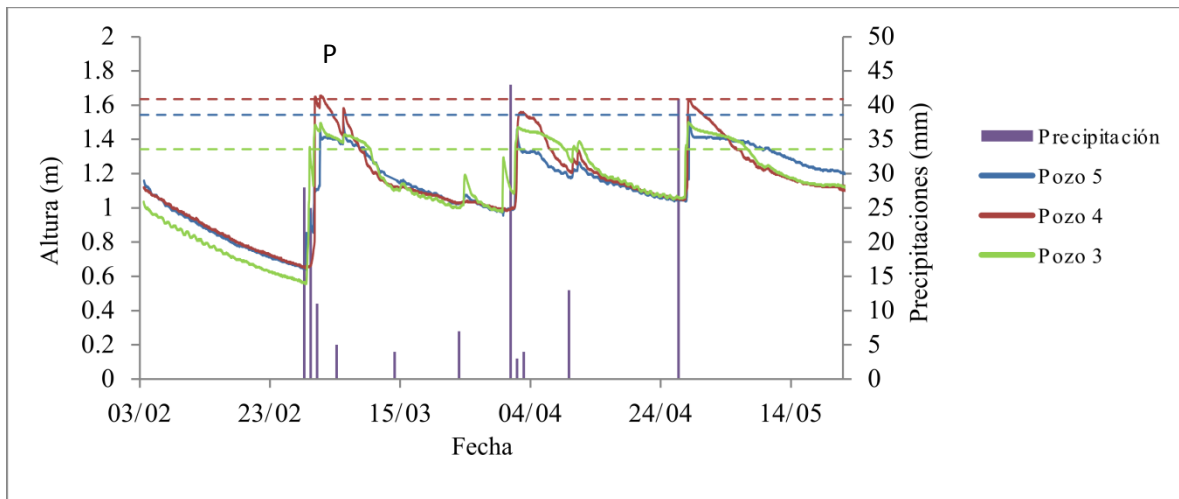


Figura 4.5. Se muestran las fluctuaciones del agua en los 3 pozos que se monitorearon sobre las marismas de *S. densiflora*. La letra P representa uno de los eventos de precipitación ocurridos, y coincide con un aumento en el nivel del agua dentro del freaómetro. Las líneas punteadas representan el nivel del suelo y llevan el color del pozo al que corresponden.

Disminución del nivel

Se observó una disminución bastante continua del nivel del agua en los pozos. El factor responsable de esta disminución posiblemente sea la evapotranspiración. Durante las horas de luz se observó una marcada disminución del nivel, sobre todo durante el verano cuando la temperatura es elevada. Durante esta estación el descenso en el nivel es más pronunciado en horas cercanas al mediodía, mientras que al descender la temperatura durante la noche se mantiene el nivel constante, otorgando una forma escalonada a las mediciones. Durante los días fríos, se observa un pequeño descenso en el nivel del agua en los pozos luego del mediodía, pero el descenso total a lo largo del día es comparativamente menor (Figura 4.6).

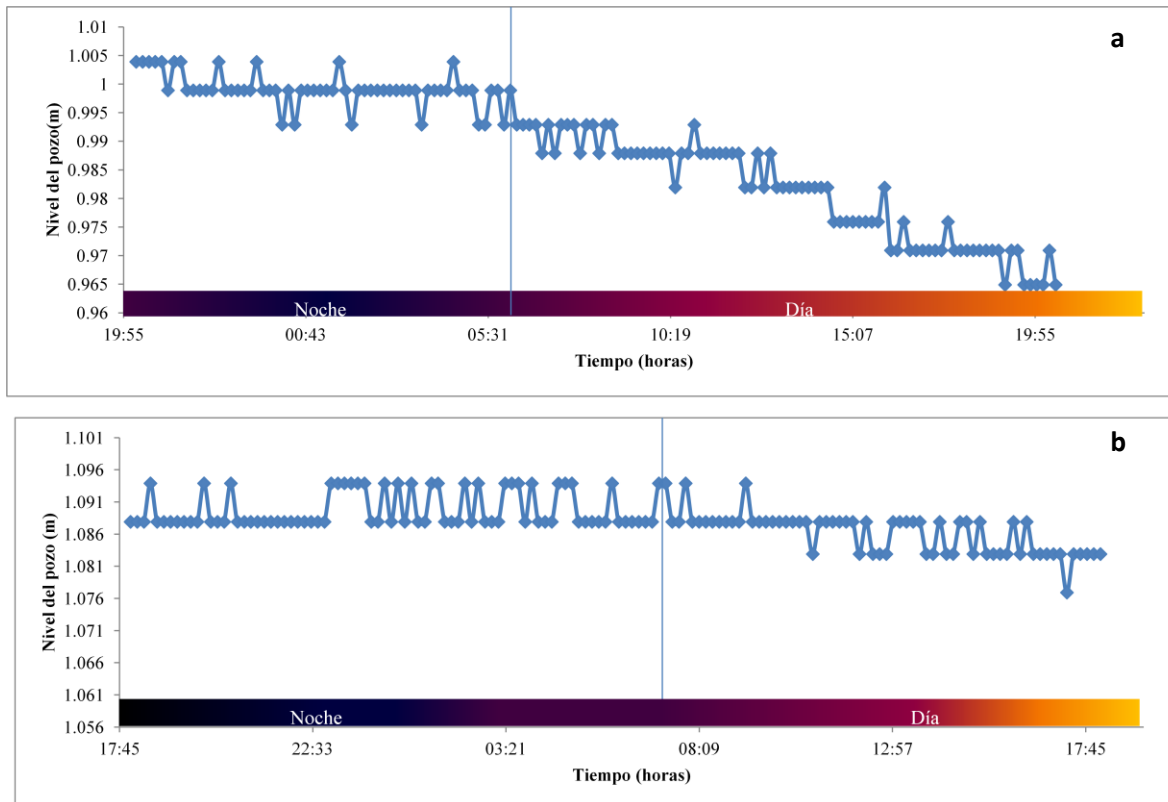


Figura 4.6. (a) Nivel del agua en el pozo 3 durante un día con altas temperaturas. En el gráfico se muestran los datos correspondientes a 24 hs, desde el 3/02/2013 20:15 hs hasta el 4/02/2013 20:27hs (el atardecer para esos días correspondió a las 20:24 y 20:23 hs respectivamente). El amanecer está marcado con una línea vertical. **(b) Nivel del agua en el pozo 3 durante un día con bajas temperaturas.** El gráfico muestra el nivel de agua en el pozo tres desde el atardecer del día 25/06/2013 al del 26/06/2013. El nivel del suelo es 1,342 m.

Composición

La diversidad en todos los sitios fue baja (Figura 4.7). Al alejarnos del extremo de la marisma más afectado por la marea se observa un aumento en el promedio de la altura de las plantas y una disminución en la conductividad eléctrica, el porcentaje de agua fluctúa entre distancias (Figura 4.8). En los sitios donde las plantas son más altas en general domina *S. densiflora* sobre *S. perennis*, siendo éstas las especies más abundantes.

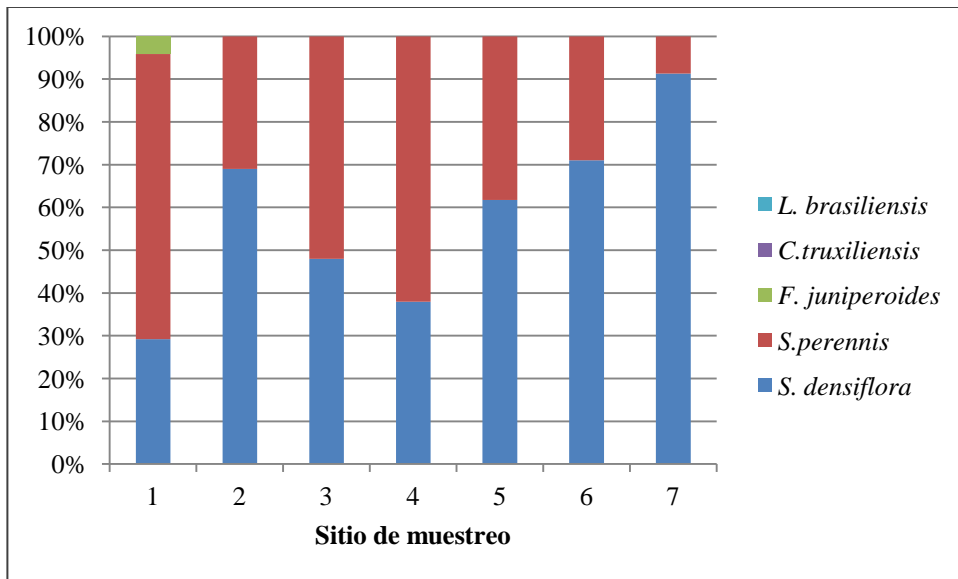


Figura 4.7. Abundancia relativa promedio de cada especie.

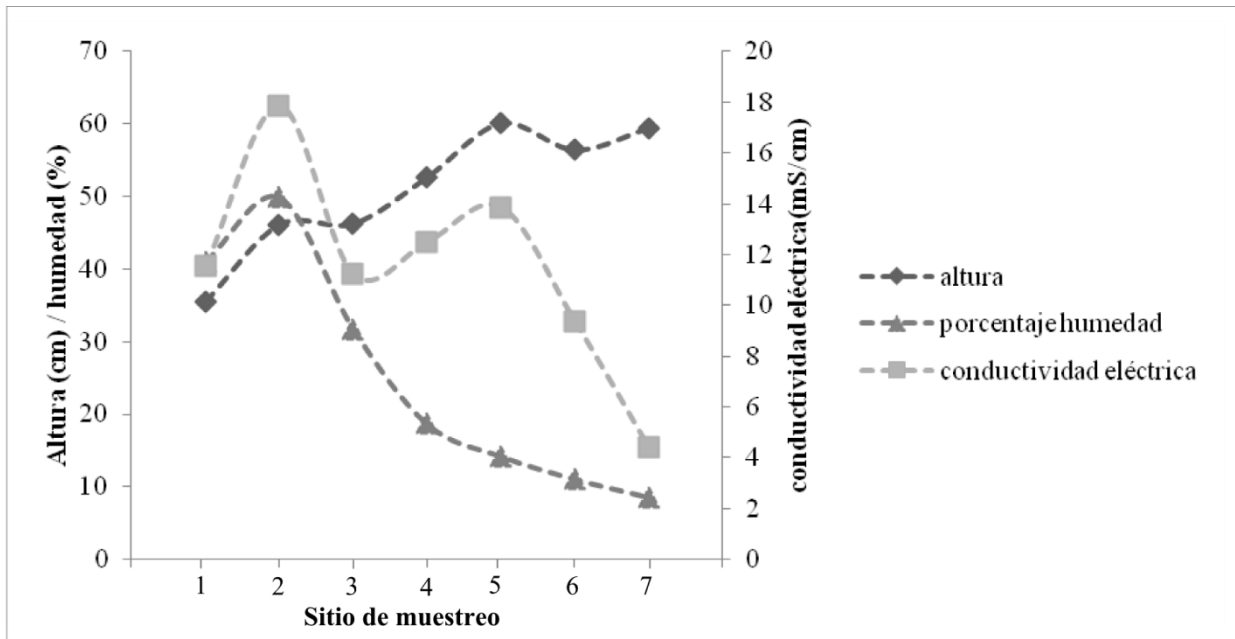


Figura 4.8. Promedio de la altura de las plantas de *S. densiflora*, del porcentaje de humedad y conductividad eléctrica de los 3 sitios.

DISCUSIÓN

Los niveles medidos muestran que las marismas de *S. densiflora* se distribuyen en un área cuyo límite inferior está localizado entre el nivel medio de las pleamares y por encima del nivel medio de las mareas, y cuyo límite superior es cercano al nivel de la marea astronómica más alta. En este punto comienzan a aparecer otras especies: primero *S. perennis*, *Limonium brailiensis*, luego *H. ritteriana*, *A. patagonica* y finalmente especies que se encuentran en los arbustales halófilos. Para el área de Mar Chiquita se ha descrito que la especie forma marismas puras y su mayor extensión ocurre entre la pleamar media (0,40 msnm) y la máxima (0,97 msnm) (González Trilla, 2010). En zonas más elevadas las marismas se vuelven marismas mixtas al aparecer *Juncus acutus* (Cagnoni, 1999). En los ambientes estudiados en este capítulo los rangos de elevación en los que aparecen marismas puras de *S. densiflora* presentan límites entre los 1,27 m y 1,76 m \pm 0,17 m. Con respecto a Mar Chiquita se distribuyen también entre las pleamares medias y máximas de la zona de Bahía Blanca. En los sectores más bajos suelen observarse peladales, que permanecen inundados varios días luego de lluvias importantes, aún durante período seco. Según algunos estudios la *S. densiflora* no tolera bien condiciones de hipoxia (Castillo *et al.*, 2000) y una mayor permanencia de suelos inundados podría ser la causa de la ausencia de plantas en sitios bajos.

De acuerdo a los relevamientos topográficos, las pleamares ordinarias alcanzarían el nivel de los canales en los que se desarrollan estas marismas. Sin embargo, este efecto no se refleja en los datos registrados en los freaímetros, en los que en ningún momento se observaron oscilaciones características de la marea. Una posible explicación para este fenómeno estaría dada por el breve tiempo durante el cual el nivel de la marea está apenas unos centímetros por encima del nivel del suelo. La baja permeabilidad de estos suelos no permitiría que el flujo de agua intersticial penetre lo suficiente dentro del freaímetro como para permitir el registro de un cambio de nivel en el sensor. Otra explicación posible es que, debido a la escasa pendiente, una elevación muy sutil a lo largo del canal podría actuar como dique impidiendo el flujo de la marea hasta el punto de medición.

Según el registro, los factores que más influenciaron el nivel del agua superficial-subsuperficial fueron las lluvias y la evaporación. Es decir que la hidrología de estas marismas estaría dominada principalmente por los pulsos de lluvia que hacen que la marisma permanezca

inundada durante períodos más o menos prolongados. Posiblemente en sectores más cercanos al canal de marea la inundación por mareas sea más frecuente. La marisma permanece inundada por un tiempo prolongado durante períodos lluviosos, mientras que en períodos secos el nivel del agua disminuye gradualmente. Es así que estas marismas están localizadas en un sitio donde interactúan el nivel del mar con la hidrología terrestre. Mientras que el régimen de precipitaciones provee la fuente de agua, la escasa elevación del terreno permite que el nivel del mar actúe como una línea de base que dificulta el drenaje, generando períodos prolongados de anegamiento o saturación.

La respuesta a los eventos de lluvia es rápida. Esto también se ha observado a lo largo de una transecta entre bosque-marisma en la marisma de “Crabhaul Creek” (South Carolina, EEUU), donde se determinó que los factores principales en la fluctuación del nivel de agua subsuperficial eran las precipitaciones y la inundación por mareas, que aumentan el nivel y la evapotranspiración que provoca su disminución (Gardner *et al.*, 2002). En nuestro caso, se notó una marcada disminución del nivel durante las horas de luz de meses cálidos, sin embargo durante el invierno esto no ocurre, lo que sugiere una fuerte influencia de la evaporación en el nivel registrado en los pozos. Gardner *et al.* (2002) observa una respuesta similar en sectores boscosos y marismas altas. Durante los eventos de lluvia los pozos no respondieron de la misma manera: el pozo n° 4 mostró un aumento mayor del nivel frente a eventos de lluvia que los otros dos. Esto puede estar relacionado con el hecho que estaba localizado a escasos 40 m aguas arriba de un camino mejorado y elevado, que podría actuar como barrera artificial dificultando el drenaje hacia el canal de marea.

Tanto la abundancia de *S. densiflora*, como su altura aumentaron a distancias crecientes del límite inferior de la marisma, en el extremo más afectado por las mareas. Donde se presentan los menores valores de conductividad eléctrica y el porcentaje de humedad es mayor se observa una menor abundancia de *S. perennis* y otras especies, que podrían ser desplazadas por la *Spartina*. En marismas densas de *S. densiflora* se nota una disminución en abundancia y vigor de otras especies (Eicher, 1987). Posiblemente bajo estas condiciones donde el stress salino e hídrico es un poco menor, empiezan a cobrar más importancia las relaciones de competencia. Si se compara esta información con los perfiles topográficos medidos, se puede observar que los sitios más cercanos a la planicie de marea, es decir aquellos con menor altura en las plantas de

Spartina, podrían ser más bajos y por este motivo y por la cercanía a la planicie de marea, más frecuentemente inundados por la marea y durante más tiempo.



Figura 4.9. Varias imágenes de las marismas de *S. densiflora* y del trabajo realizado en ellas.

Capítulo 5.

Respuesta germinativa de especies halófilas de Bahía Blanca frente a diferentes potenciales osmóticos y diferentes sales

Capítulo 5. Respuesta germinativa de especies halófilas de Bahía Blanca frente a diferentes potenciales osmóticos y diferentes sales

INTRODUCCIÓN

Según Flowers y Colmer (2008), las halófilas, definidas como especies que pueden sobrevivir y reproducirse a concentraciones salinas alrededor de 200 mM NaCl, constituyen el 1 % de la flora del mundo. Cuando las plantas presentan un crecimiento óptimo a concentraciones mayores o iguales a 0,5 % NaCl se consideran euhalófitas, mientras que si toleran la salinidad pero su crecimiento es óptimo a salinidades menores se denomina miohalófitas (Chapman, 1942). De acuerdo a la hipótesis del gradiente de estrés (Bertness y Callaway, 1994), las interacciones positivas (facilitación) serán muy comunes en ambientes con alto grado de estrés físico, mientras que donde el ambiente es más benigno estas interacciones se volverán raras y la fuerza dominante será la competencia. En ambientes salinos, donde es común encontrar a estas especies es interesante el rol de las llamadas plantas nodrizas o facilitadoras, es decir aquellas que permiten el reclutamiento de plántulas de otras especies al producir una disminución en el estrés físico y/o biológico (Holmgren *et al.*, 1997). Las plantas halófilas, más tolerantes a la salinidad, crecen como individuos aislados y pueden generar sitios más benignos facilitando el establecimiento de otras especies. De acuerdo a la hipótesis del gradiente de estrés, una vez aliviado el estrés físico del ambiente, las plantas que son sensibles a las sales (glicófitas) desplazarían por competencia a las halófitas (Chapman, 1942; Baker *et al.*, 1985).

La germinación es uno de los momentos críticos en la vida de una planta (Grime y Campbell, 1991). Los requisitos necesarios para que ocurra la germinación determinarán el lugar donde se implantará y las condiciones a las que estará sometida la planta durante el resto de su ciclo de vida. En el caso de las especies halófitas, la germinación es óptima en agua dulce y a salinidades por debajo de 0,5 % NaCl (Ungar, 1978), mientras que al aumentar la salinidad la germinación disminuye hasta ser inhibida (Ungar, 1978; Khan *et al.*, 2000). La germinación durante períodos de salinidad reducida tendría el valor adaptativo de asegurar mejores condiciones para las plántulas y por lo tanto, aumentar las probabilidades de que alguna de las plántulas de una determinada cohorte de semillas se desarrolle hasta su madurez reproductiva (Ungar, 1996).

La tolerancia a las sales al momento de la germinación puede determinarse considerando dos factores, la capacidad de las semillas de permanecer viables bajo condiciones hipersalinas y el límite máximo de salinidad en el cual las semillas germinan (Ungar, 1991). En contraste con las especies glicófitas, las semillas de las especies halófitas pueden permanecer viables después de períodos prolongados de exposición al estrés salino, para germinar luego al tornarse más favorables las condiciones (Khan y Ungar, 1997; Zia y Khan, 2004). La salinidad de la capa superficial del suelo puede ser mucho más elevada que la de capas inferiores, representando un ambiente más extremo para la semilla que para la planta adulta (Ungar, 1978). En estas condiciones, la capacidad de las semillas de permanecer viables permitiría mantener una población sostenida por eventos esporádicos de reclutamiento de plántulas.

La recuperación frente a un estrés salino ha sido estudiada en un número considerable de especies. Por ejemplo, *Limonium stocksii* germina luego de exponer sus semillas a soluciones de 500 mM NaCl y transferirlas a agua destilada (Zia y Khan, 2004). Tendencias similares fueron reportadas para *Haloxylon recurvum*, *Suaeda fruticosa* y *Triglochin maritima* (Khan y Ungar, 1997), *Salicornia europea* (Ungar, 1962) y muchas otras especies. También se ha descrito la existencia de un priming osmótico sobre la germinación al disminuir las condiciones de elevada salinidad (Katembe *et al.*, 1998). Esto implica que las semillas se embeban en soluciones de bajo potencial osmótico, lo que permitiría que se hidraten y que se avance en los procesos metabólicos, pero previniendo la germinación (Ashraf y Foolad, 2005).

La forma en la que la germinación de una semilla se ve afectada por las sales disueltas depende del tipo de sal. El estrés salino es generado por sales neutras (como NaCl o Na₂SO₄), mientras que el estrés alcalino es generado por sales alcalinas (Na₂CO₃ o NaHCO₃) (Yang *et al.*, 2007). El estrés salino afecta el crecimiento de una planta al inducir la inhibición osmótica de la absorción del agua (Greenway y Munns, 1980; Munns, 2002). Además del efecto osmótico la acumulación de iones específicos, como Na⁺ o Cl⁻ pueden inhibir la actividad de varias enzimas y disminuir la síntesis de proteínas, afectando la fotosíntesis y el metabolismo energético (Yeo, 1998; Tester y Davenport, 2003). En el caso de las sales alcalinas, se genera además un estrés adicional debido al pH alto (Wang *et al.*, 2011). Un ambiente donde el pH es elevado puede causar que los iones metálicos y el fósforo alrededor de las raíces precipiten, conllevando a la pérdida de sus funciones fisiológicas normales y a la destrucción de su estructura celular (Li *et*

al., 2009). La alcalinidad también puede inhibir la absorción de algunos aniones inorgánicos afectando en gran medida la absorción selectiva de Na^+ y K^+ , rompiendo de esta forma el balance iónico (Yang *et al.*, 2007, 2008, 2009). Existen numerosos estudios que demuestran que el estrés alcalino genera un efecto más grave en el crecimiento de una planta que el estrés salino (Shi y Yin, 1993; Tang y Turner, 1999).

Las semillas pueden ver influenciada su germinación por efectos osmóticos, efectos iónicos (Duan *et al.*, 2004) y también por efecto de un pH elevado (estrés alcalino) (Li *et al.*, 2009). Sustancias como el manitol y el polietilenglicol (PEG) pueden generar un efecto osmótico sin causar toxicidad específica por iones. Concentraciones iso-osmóticas de ciertos iones inorgánicos tienen efectos similares a los del manitol o el PEG en algunas especies halófilas (Ungar, 1978; Duan *et al.*, 2004; Joshi *et al.*, 2005; Katembe *et al.*, 1998), mientras que otras especies muestran una disminución en la germinación debida a los efectos tóxicos de iones específicos (Poljakoff-Mayber *et al.*, 1994; Al-Karaki, 2001; Sosa *et al.*, 2005).

La zona costera de Bahía Blanca se caracteriza por suelos con elevadas salinidades. Los antecedentes bibliográficos señalan que los iones Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- y K^+ son los más comunes (Krüger y Peinemann, 1996) y el pH de los suelos es de neutro a levemente alcalino (Krüger, 1989). Verettoni (1962, 1974) también caracterizó las sales presentes en los suelos de la región de Bahía Blanca encontrando concentraciones especialmente altas de carbonatos, con pH promedio de 8,6 en ambientes ubicados en depresiones. Entre las especies dominantes de los distintos ambientes que se describieron en el capítulo 2 se seleccionaron cinco para estudiar su germinación. La selección estuvo basada tanto en su importancia como en la posibilidad de conseguir suficiente material para realizar los ensayos. Las especies seleccionadas se presentan en la Tabla 5.1 y en las Figuras 5.1 y 5.2. se pueden observar fotografías de las mismas.

Algunas de las adaptaciones a la salinidad que se observan en las especies estudiadas son la presencia de tejido acuífero que otorga la característica de succulencia, esto es especialmente notorio para *Heterostachys ritteriana*, *Allenrolfea patagonica* y *Sarcocornia perennis*. Otra característica que puede apreciarse es la disposición adpresa de las hojas o la reducción del área foliar, llegando incluso a la pérdida de hojas en algunas especies. Se puede observar cierto grado de protección de los estomas. La presencia de una cutícula gruesa no es un carácter común en

todas las especies, pero puede observarse en *Cyclolepis genistoides*. En *A. undulata* se observan tricomas glandulares secretores de sal (Pérez Cuadra, 2012).

Tabla 5.1. Listado de especies utilizadas, familia botánica a la que pertenecen y adaptaciones que poseen (Pérez Cuadra, 2012)

Especie	<i>Allenrolfea patagonica</i> (Moq.)Kuntze	<i>Atriplex undulata</i> (Moq.)D.Dietr.	<i>Cyclolepis genistoides</i> D.Don	<i>Heterostachys ritteriana</i> (Moq.) Ung.-Sterb.	<i>Sarcocornia perennis</i> (Mill)A.J. Scott
Familia	Chenopodiaceae	Chenopodiaceae	Asteraceae	Chenopodiaceae	Chenopodiaceae
hoja	adpresas, un tercio libre	_____	_____	adpresas	
cutícula	abundante en cara abaxial	delgada	delgada	abundante, cara abaxial	
HOJA	estomas	pseudohundidosabaxial	a nivel células epidérmicas, en ambas epidermis	pseudohundidos abaxial; epidérmico adaxial	
	tejido acuífero	SI	_____	5 capas	SI
	Tricomas	_____	Glandulares secretores de sal	Glandulares y eglandulares	Esta especie se considera áfila, la función fotosintética es llevada a cabo por el tallo.
cristales	_____	drusas y poliedros compuestos	_____	_____	
TALLO		De sección circular con algunas costillas. Con tricomas glandulares secretoras de sal.	De sección circular con costillas, la cutícula es gruesa, presenta tricomas glandulares y eglandulares y estomas en la zona intercostal.	De sección transversal similar al de <i>A. patagonica</i> .	Presencia de estomas pseudohundidos y tejido acuifero que otorga la característica de succulencia.
	Tallo	El tallo joven está cubierto por hojas y parece suculento, al envejecer presenta crecimiento secundario			

Se pretende evaluar a través de ensayos controlados, los efectos de distintas sales, con distintas concentraciones, sobre la germinación de las semillas de especies dominantes en la zona costera de Bahía Blanca. Se intentará discriminar los efectos osmótico, iónico y alcalino, además de establecer los niveles de tolerancia para cada especie. A partir de esta información se espera contribuir a explicar la distribución de estas halófilas.

Objetivos:

Estudiar el efecto de distintas soluciones salinas (efectos osmóticos, iónicos y/o alcalinos) sobre el porcentaje final de germinación de especies características de la zona costera de Bahía Blanca.

Conocer concentraciones y sales que limitan la germinación y cuáles afectan la viabilidad de las semillas de las distintas especies.

Se pretenden responder las siguientes preguntas:

1-¿Cómo varía el porcentaje final de germinación de las especies bajo estudio al exponerlas a soluciones de manitol, NaCl y Na₂CO₃ con diferentes concentraciones?

2- ¿Cómo influye en la repuesta una variación en la temperatura?

3- ¿Cómo varía el porcentaje de recuperación de las semillas al remover el estrés generado por la exposición a un potencial osmótico bajo (-3 MPa) y a distintos agentes osmóticos?



Figura 5.1. *Izquierda:* Plantulas observadas en el campo luego de una lluvia fuerte en verano, se identificaron plántulas de *Sarcocornia perennis* y de *Atriplex undulata*, lugar: Camino de los Cuatros en el Saltral de la Vidriera. *Derecha:* Plántulas de *S. perennis* que aparecieron en el campo luego de una lluvia fuerte en invierno, lugar: Cabeza de Buey.



Figura 5.2. De izquierda a derecha, arriba: *A. undulata*, *H. ritteriana*; abajo: *C. genistoides*, *A. patagonica* y *S. perennis*.

METODOLOGÍA

Recolección de las semillas

Las semillas de cinco especies claves de la comunidad halófila de la región costera de Bahía Blanca (sector: Cabeza de Buey) se recolectaron durante los años 2013 y 2014 según la fenología de cada especie (ver Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Se presenta la información referida al mes de recolección y al tipo de fruto de cada una de las especies seleccionadas.

Especie	Mes de recolección	Fruto
<i>A. patagonica</i>	Octubre	Utrículo cubierto estructuras accesorias
<i>A. undulata</i>	Junio	Utrículo cubierto por bractéolas
<i>H. ritteriana</i>	Agosto	Utrículo
<i>S. perennis</i>	Junio	Utrículo
<i>C. genistoides</i>	Diciembre	Cipsela

Las semillas se recolectaron manualmente durante el momento de maduración de cada especie. Para obtener una muestra representativa se recolectaron semillas de más de 100 plantas por especie. Se almacenaron a temperatura ambiente (aproximadamente 20°C) en bolsas de papel en oscuridad.

Los frutos de *A. undulata* y *A. patagonica* fueron escarificados, debido a que presentan una cubierta que, si bien le podría otorgar una protección adicional contra las salinidades elevadas, genera cierto nivel de dormancia en las semillas (Stevens *et al.*, 2006; Piovan *et al.*, 2014). Esta decisión fue tomada debido a que un porcentaje de los frutos no posee una semilla viable y no es posible la identificación de frutos vanos una vez terminado el ensayo debido al reducido tamaño de la semilla y la formación de hongos. En el caso de *C. genistoides* se removió el papus para que no toque la tapa superior de la caja de Petri y para disminuir la formación de hongos.

Se evaluó la viabilidad de las semillas a través un preensayo en cámara de germinación con 12 horas de luz a 25°C y 12 hs de oscuridad a 15 °C. En el mismo se utilizaron cajas de Petri

($\varnothing = 9$ cm) con un papel filtro, 3 mL de agua destilada y 25 semillas de la especie correspondiente.

Diseño experimental

Experimento número 1: Efecto de las distintas sales y concentraciones sobre el porcentaje final de germinación

Se llevó a cabo un diseño experimental factorial para estudiar el efecto de las especies (5 especies), potenciales osmóticos (4 niveles: -0,5 MPa, -1,0 MPa, -1,5 MPa, -2,0 MPa), agente osmótico (3 niveles: manitol, NaCl y Na₂CO₃) y temperatura (2 niveles: día/noche 25/15°C y 20/10°C). Se utilizaron estas temperaturas pues a partir de un preensayo se observó que las semillas germinaban mejor a estas temperaturas que a temperaturas más altas. Se realizaron 5 réplicas para cada combinación de tratamientos (especie X potencial osmótico X agente osmótico X temperatura), resultando un total de 600 cajas de Petri (cada caja de Petri se considera una unidad experimental). Adicionalmente para cada temperatura se añadió un tratamiento control que consistió de 5 réplicas con agua destilada (en este caso el potencial osmótico se considera cercano a 0 MPa), sumando así un total de 650 cajas de Petri.

Las soluciones se prepararon utilizando agua destilada y la concentración necesaria de cada sal para lograr el mismo potencial osmótico. Las concentraciones de las sales se calcularon utilizando la relación empírica de Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1994):

$$\Psi = - R * T * C * i \quad (5.1)$$

donde, R representa la constante universal de los gases, T la temperatura (K), C la concentración molar (mol/L) e i es el factor de Van't Hoff (que en el caso de manitol al ser un no-electrolito es 1, mientras que para los electrolitos representa el número de iones en el que se disocian).

Luego de realizar las soluciones, las mismas fueron medidas en un osmómetro (Osmomat, modelo 030, Gonotec, GmbH, Alemania). En los casos en los que se observó un error mayor al 0,05 osmol/L se rectificaron las soluciones. Las soluciones utilizadas aparecen en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Soluciones utilizadas para los ensayos de germinación. Para cada solución se especifica la concentración preparada y la lectura obtenida con el osmómetro.

Agente osmótico	Concentración (mol/L)	Potencial osmótico (MPa)
NaCl	0,1	-0,5
NaCl	0,2	-0,955
NaCl	0,3	-1,44
NaCl	0,4	-1,9
NaCl	0,6	-2,85
Na ₂ CO ₃	0,1	-0,525
Na ₂ CO ₃	0,2	-1,1
Na ₂ CO ₃	0,3	-1,57
Na ₂ CO ₃	0,4	-2,05
Na ₂ CO ₃	0,6	-2,7925
Manitol	0,2	-0,5025
Manitol	0,4	-1,045
Manitol	0,6	-1,57
Manitol	0,8	-2,0325
Manitol	1,2	-3,0675

Cada caja de Petri contenía 25 semillas de una de las especies sobre dos papeles de filtro y se agregaron 4 mL de la solución correspondiente. Las cajas de Petri se sellaron en grupos de 5 para minimizar la evaporación (Ludewig *et al.*, 2014). Se colocaron en cámaras de germinación con la temperatura correspondiente.

Las cajas de Petri fueron revisadas cada dos días, y cuando el número de semillas germinadas disminuyó se revisaron cada 4 días. El criterio de germinación fue la ruptura de la testa ya sea por la radícula o por los cotiledones. Las semillas germinadas fueron contadas, registradas y removidas de la caja de Petri.

Para evaluar la respuesta de la germinación se calculó el porcentaje de germinación para cada unidad experimental, como el número de semillas germinadas en relación al número inicial de semillas por caja de Petri.

Experimento número 2: Recuperación de las semillas luego de la exposición a concentraciones elevadas de sales

Para evaluar la reversibilidad del estrés salino al que las semillas podrían estar expuestas en el campo, se realizó un segundo experimento. En el mismo se expusieron las semillas a un potencial osmótico bajo con la intención de inhibir la germinación.

Semillas de cuatro de las especies (*A.undulata*, *S. perennis*, *A. patagonica* y *C. genistoides*) fueron expuestas a un pretratamiento antes de su transferencia a agua destilada. *H. ritteriana* no fue incluida debido a que no se contaba con suficiente material para realizar el ensayo completo. El mismo consistió de dos factores: tipo y tiempo de pretratamiento. El tipo de pretratamiento está definido por el agente osmótico utilizado y tiene tres niveles: NaCl, Na₂CO₃ o manitol, todos a un potencial osmótico igual a -3 MPa. El tiempo de pretratamiento es el número de días que las semillas fueron expuestas al estrés antes de su transferencia a agua destilada, también consta de tres niveles: 5, 10 ó 20 días. El experimento consistió de un total de 36 tratamientos (especie X tipo de pretratamiento X tiempo de pretratamiento) con 5 réplicas cada uno (un total de 180 unidades experimentales). Cada caja de Petri contenía 25 semillas, dos papeles de filtro y 4 mL de la solución correspondiente. Las cajas se sellaron en bolsas plásticas en grupos de 5 (Ludewig *et al.*, 2014) y se colocaron en una cámara de germinación a 25°/15°C y 12 hs luz/12 hs noche (para mayor detalle ver experimento 1).

Luego de estar expuestas al estrés salino, las semillas fueron removidas y transferidas a cajas de Petri con dos papeles filtros y 4 mL de agua destilada. Se las reubicó en la cámara de germinación bajo las mismas condiciones de luz y temperatura que en el pretratamiento. Además se añadió un control, compuesto por semillas sin pretratamiento. Nuevamente, las cajas de Petri se sellaron en grupos de cinco en bolsas plásticas para minimizar la evaporación. Durante los primeros cinco días se chequeó a diario la germinación y luego cada dos días durante dos semanas.

Para evaluar la respuesta germinativa se calculó el porcentaje de recuperación:

$$PR(\%) = \frac{a}{b} \times 100 \quad (5.2)$$

Donde a es el número de semillas germinadas luego de la transferencia al agua destilada, b es el número de semillas transferidas al agua destilada (siguiendo a Qu *et al.* 2008).

Análisis estadísticos

Para analizar los efectos del potencial osmótico, el tipo de agente osmótico, el régimen de temperaturas y la especie sobre el porcentaje medio de germinación, se realizó un ANOVA factorial de efectos mixtos. Para ello se excluyeron los controles del análisis. Antes de realizar el análisis se transformaron los datos con la transformación arcoseno. Se consideró a la especie como un factor aleatorio debido que representa una muestra aleatoria del pool de especies que está disponible en el ambiente (Underwood, 1997). Los demás factores fueron considerados fijos. Para realizar estos análisis se utilizó el paquete GAD de R. Cuando se encontraron diferencias significativas se realizaron comparaciones múltiples de Tukey.

De forma adicional para determinar los efectos de los tratamientos en cada especie por separado se hicieron ANOVAs de tres factores (agente osmótico X potencial osmótico X temperatura). Cuando se encontraron diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey para realizar las comparaciones múltiples. Para el segundo experimento también se realizó un ANOVA de efectos mixtos y luego, para determinar el efecto de los tratamientos por especie, ANOVAs de dos factores.

RESULTADOS

Experimento número 1: Efecto de las distintas sales y concentraciones sobre el porcentaje final de germinación

El porcentaje medio de germinación (PG %) varió entre $93,6 \% \pm 2,04 \%$ hasta $0 \% \pm 0 \%$ (media \pm error estándar, $n=5$) entre todos los posibles cruces entre tratamientos, con valores mínimos de 0% (*C. genistoides*, *A. undulata*, *H. ritteriana*, *A. patagonica*) y valores máximos del 100% (*A. undulata*, *S. perennis*). Debido a la gran cantidad de ceros, se eliminó a *C. genistoides* de los análisis estadísticos. El factor potencial osmótico fue responsable del porcentaje más alto de contribución a la varianza ($38,1 \%$) (Tabla 5.4). El factor aleatorio especie también mostró un gran porcentaje en dicho aporte ($20,6 \%$). En le ANOVA general no se observan efectos del factor principal temperatura.

Se observaron interacciones significativas entre los factores agente y potencial osmótico (Figura 5.3). A potenciales osmóticos altos ($\Psi = -0,5$ MPa) no se observan diferencias significativas entre el manitol ($69,1 \% \pm 24,3 \%$, media \pm desvío estándar) y el NaCl ($64,5 \% \pm 25,1 \%$), ni entre NaCl y Na_2CO_3 ($57,6 \% \pm 28,5 \%$). Al disminuir el potencial osmótico comienza a disminuir el porcentaje de germinación con todos los agentes. Con $\Psi = -1$ MPa, el manitol ($61,3 \% \pm 21,6 \%$) y el NaCl ($57,7 \% \pm 23,9 \%$) no se diferencian significativamente entre sí, mientras que el Na_2CO_3 presenta un marcado descenso ($34,4 \% \pm 19,4 \%$). Con respecto al tratamiento de $\Psi = -0,5$ MPa el manitol -1 MPa no se diferencia de NaCl $-0,5$ MPa y del Na_2CO_3 $-0,5$ MPa, lo mismo ocurre con el NaCl -1 MPa y el Na_2CO_3 $-0,5$ MPa. Con $\Psi = -1,5$ MPa, el NaCl ($41,3 \% \pm 24,0 \%$), el manitol ($33,5 \% \pm 24,0 \%$) y el Na_2CO_3 ($12,1 \% \pm 15,7 \%$) se diferencian significativamente entre sí. Si comparamos este potencial con $\Psi = -1$ MPa, Na_2CO_3 -1 MPa no se diferencia significativamente de NaCl $-1,5$ MPa y manitol $-1,5$ MPa. Finalmente para el tratamiento $\Psi = -2$ MPa no se observaron diferencias significativas entre el manitol y el NaCl, pero si con el Na_2CO_3 . Con respecto a $\Psi = -1,5$ MPa, el tratamiento NaCl no se diferenció del Manitol $-1,5$ MPa.

Tabla 5.4. ANOVA- modelo mixto. gl=Grados de libertad, SC=Sumas de Cuadrado, %cv=porcentaje de contribución a la varianza. Las diferencias significativas están resaltadas en negrita.

	gl	SC	p-value	%cv
Potencial osmótico (po)	3	25,9	0,004	38,098
Agente osmótico (ao)	2	6,9691	0,007	10,251
Temperatura (T)	1	0,5925	0,285	0,872
Especie (sp)	3	14,0124	<0,001	20,612
po:ao	6	1,3064	0,011	1,922
po:T	3	0,1773	0,131	0,261
ao:T	2	0,01	0,782	0,015
po:sp	9	8,5211	<0,001	12,534
ao:sp	6	1,6944	<0,001	2,492
T:sp	3	1,0551	<0,001	1,552
po:ao:T	6	0,0983	0,436	0,145
po:ao:sp	18	1,0062	<0,001	1,480
po:sp:T	9	0,218	0,130	0,321
ao:sp:T	6	0,1166	0,285	0,172
po:ao:T:sp	18	0,2853	0,446	0,420
Residuales	384	6,0201		

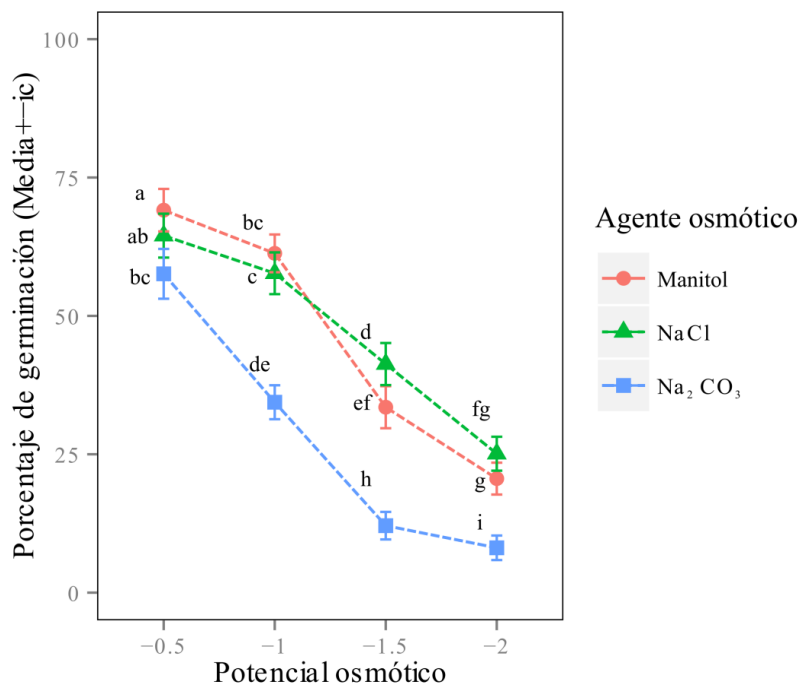


Figura 5.3. El gráfico muestra el promedio del porcentaje de germinación para la interacción de cada nivel del tratamiento potencial osmótico entre los niveles del tratamiento “agente osmótico”. Las barras representan el intervalo de confianza (IC = 95 %).

Si analizamos las especies por separado (Figura 5.4), se observan interacciones entre el potencial osmótico y el agente osmótico para todas las especies (Tabla 5.5). *Sarcocornia perennis* presentó un valor de $28,8 \% \pm 13,9 \%$ (media \pm desvío estándar) en el tratamiento con menor PG y uno de $84,4 \% \pm 10,05 \%$ en el control. En el ANOVA (Tabla 5.5) se observaron interacciones entre agente osmótico y potencial osmótico. En líneas generales se observó que el tratamiento de NaCl presentó una disminución significativa al disminuir el $\Psi = -2$ MPa, mientras que para el Manitol se observó una disminución significativa a un $\Psi = -1,5$ MPa y para el Na_2CO_3 a un $\Psi = -1$ MPa. En $\Psi = -2$ MPa y $\Psi = -0,5$ MPa no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos agente osmótico.

En el caso de *A. patagonica* se observa una interacción triple (oa:op:T), esta interacción se debe principalmente a que a menor temperatura hay un menor porcentaje de germinación. En cuanto a la relación entre agente osmótico y potencial osmótico se puede decir que en el extremo de menor porcentaje de germinación, predominaron los carbonatos. La disminución fue más notoria al disminuir el potencial osmótico. Los mayores valores de PG estuvieron dados por los tratamientos con manitol y los intermedios por los de NaCl.

Heterostachys ritteriana tuvo un bajo porcentaje de germinación aún en el control. Esta especie presentó dos interacciones significativas. Entre el agente osmótico y el potencial osmótico se observó que a $\Psi = -0,5$ MPa no había diferencias significativas entre los agentes; ni entre el NaCl y manitol a $\Psi = -1$ MPa. Los menores porcentajes de germinación los mostraron los tratamientos de manitol $\Psi = -2,0$ MPa, Na_2CO_3 $\Psi = -1,5$ MPa y Na_2CO_3 $\Psi = -2,0$ MPa. La interacción entre el agente osmótico y la temperatura mostró diferencias significativas entre los tratamientos NaCl 20/10°C ($26,0 \% \pm 9,5 \%$), manitol 25/15°C ($25 \% \pm 14,8 \%$), NaCl 25/15°C ($24,8 \% \pm 13,9 \%$) y los tratamientos manitol 20/10°C ($17,2 \% \pm 12,0 \%$), Na_2CO_3 25/15°C ($16,8 \% \pm 15,3 \%$), Na_2CO_3 20/10°C ($15,0 \% \pm 13,9 \%$).

En el caso de *A. undulata* el factor potencial osmótico explica el 81 % de la varianza. Se observó una interacción significativa entre los factores potencial osmótico y agente osmótico. Para el control y tratamientos con alto potencial osmóticos se observan PG cercanos y superiores al 80 %. Incluye un grupo formado por los $\Psi = -0,5$ MPa y otro con un PG levemente menor que también incluye NaCl y manitol $\Psi = -1,0$ MPa. A un $\Psi = -1,0$ MPa para Na_2CO_3 ($31,2 \% \pm 11,1 \%$), se observa una disminución marcada. Para el NaCl y el manitol, ésta disminución marcada

del PG se observa a un $\Psi = -1,5$ MPa ($28,8 \% \pm 13,0 \%$, $10,4 \% \pm 8,7 \%$, respectivamente). Para el tratamiento Na_2CO_3 $\Psi = -2$ MPa no se observó germinación.

Debido a que *C. genistoides* no mostró germinación en los potenciales osmóticos más bajos, se eliminaron los tratamientos $\Psi = -1,5$ MPa y $\Psi = -2$ MPa de los análisis. Se observaron interacciones significativas entre el agente osmótico y el potencial osmótico. Los tratamientos Manitol $\Psi = -0,5$ MPa y el NaCl $\Psi = -0,5$ MPa no mostraron diferencias significativas ($42,4 \% \pm 11,0 \%$, $41,2 \% \pm 13,6 \%$ respectivamente), pero sí con NaCl $\Psi = -1$ MPa ($14,8 \% \pm 8,7 \%$). El tratamiento Manitol $\Psi = -1$ MPa ($4,0 \% \pm 3,8 \%$) no se diferenció significativamente de Na_2CO_3 $\Psi = -1,5$ MPa ($2,8 \% \pm 3,3 \%$).

Tabla 5.5. Resultados de ANOVA para cada especie, gl=Grados de libertad, SC=Sumas de Cuadrado, %cv=porcentaje de contribución a la varianza. Las diferencias significativas están resaltadas en negrita.

	<i>S.perennis</i>				<i>A.patagonica</i>			
	gl	SC	p	% cv	SC	p	% cv	
Potencial osmótico (op)	3	4,114	<0,001	44,066	15702	<0,001	27,137	
Agente osmótico (ao)	2	0,935	<0,001	10,015	27626	<0,001	47,744	
Temperatura	1	1,39	<0,001	14,889	1178	<0,001	2,036	
op:oa	6	0,765	<0,001	8,194	1712	0,0110	2,959	
op:T	3	0,077	0,301	0,825	724	0,0647	1,251	
oa:T	2	0,009	0,81	0,096	21	0,8970	0,036	
op:oa:T	6	0,043	0,91	0,461	1607	0,0159	2,777	
Residuales	96	2,003			9293			

	<i>H.ritteriana</i>				<i>A.undulata</i>				<i>C.genistoides</i>			
	gl	SC	p	% cv	SC	p	% cv	gl	SC	p	% cv	
op	3	13255	<0,001	57,726	24,785	<0,001	81,385	1	1,5754	<0,001	29,790	
oa	2	1810	<0,001	7,883	2,905	<0,001	9,539	2	2,5436	<0,001	48,099	
T	1	235	0,0491	1,023	0,007	0,514	0,023	1	0,045	0,0688	0,851	
op:oa	6	896	0,0261	3,902	0,946	<0,001	3,106	2	0,4527	<0,001	8,560	
op:T	3	414	0,0789	1,803	0,122	0,065	0,401	1	0,0012	0,7634	0,023	
oa:T	2	420	0,0326	1,829	0,024	0,485	0,079	2	0,023	0,4201	0,435	
op:oa:T	6	249	0,6499	1,084	0,102	0,404	0,335	2	0,0235	0,4125	0,444	
Residuales	96	5683			1,563			48	0,6239			

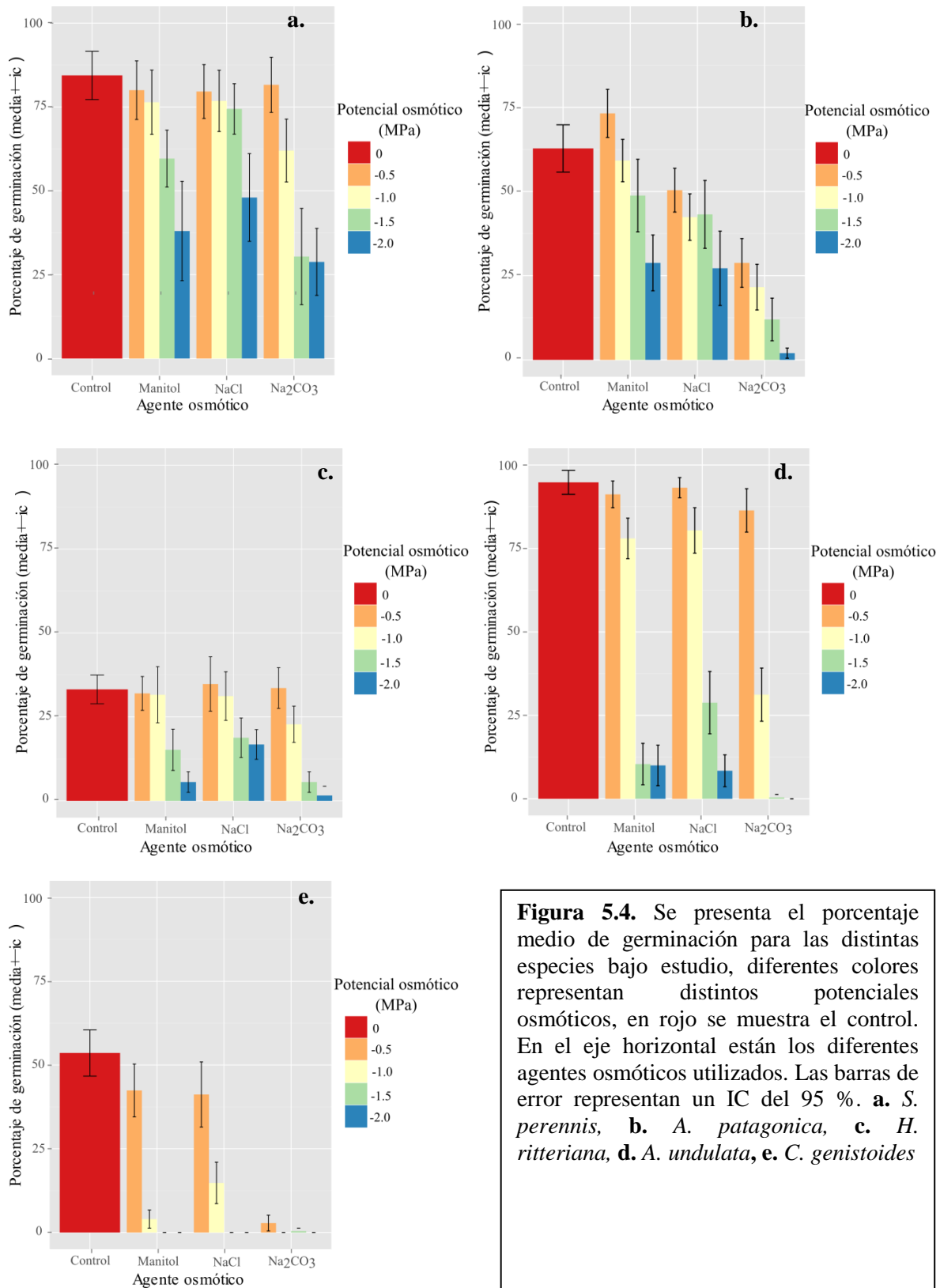


Figura 5.4. Se presenta el porcentaje medio de germinación para las distintas especies bajo estudio, diferentes colores representan distintos potenciales osmóticos, en rojo se muestra el control. En el eje horizontal están los diferentes agentes osmóticos utilizados. Las barras de error representan un IC del 95 %. **a.** *S. perennis*, **b.** *A. patagonica*, **c.** *H. ritteriana*, **d.** *A. undulata*, **e.** *C. genistoides*

Experimento número 2: Recuperación de las semillas luego de la exposición a concentraciones elevadas de sales

Hubo dos especies que mostraron la capacidad de germinar al potencial osmótico -3 MPa: *S. perennis* y *A. patagonica*, antes de su transferencia al agua destilada (Figura 5.5). Para el porcentaje de recuperación promedio (PR %) no se observaron efectos significativos para los factores agente osmótico, tiempo, ni para su interacción (Tabla 5.6). Esto significa que las diferencias que se observan provienen del comportamiento individual de las especies. Los PR % de *A. undulata* y *S. perennis* fueron los más elevados, cercanos al 90 %. En el caso de *C. genistoides* todos los PR % fueron menores al 60 %, pero estos valores son similares a los obtenidos para el control. *Allenrolfea patagonica*, en cambio mostró valores notablemente más bajos para las semillas pretratadas que para el control y el efecto se acentuó al aumentar el tiempo de exposición (Figura 5.6).

Tabla 5.6. ANOVA- modelo mixto. gl=Grados de libertad, SC=Sumas de Cuadrado, % cv=porcentaje de contribución a la varianza. Las diferencias significativas están resaltadas en negrita.

	gl	SC	p	% cv
Agente osmótico (ao)	2	0,1539	0,4844	0,855
Especie (sp)	3	13,5487	<0,001	75,346
Tiempo(t)	2	0,6609	0,147	3,675
ao:sp	6	0,5631	<0,001	3,131
ao:t	4	0,0279	0,87088	0,155
sp:t	6	0,7387	<0,001	4,108
ao:t:sp	12	0,2766	0,08431	1,538
Residuales	144	2,0121		

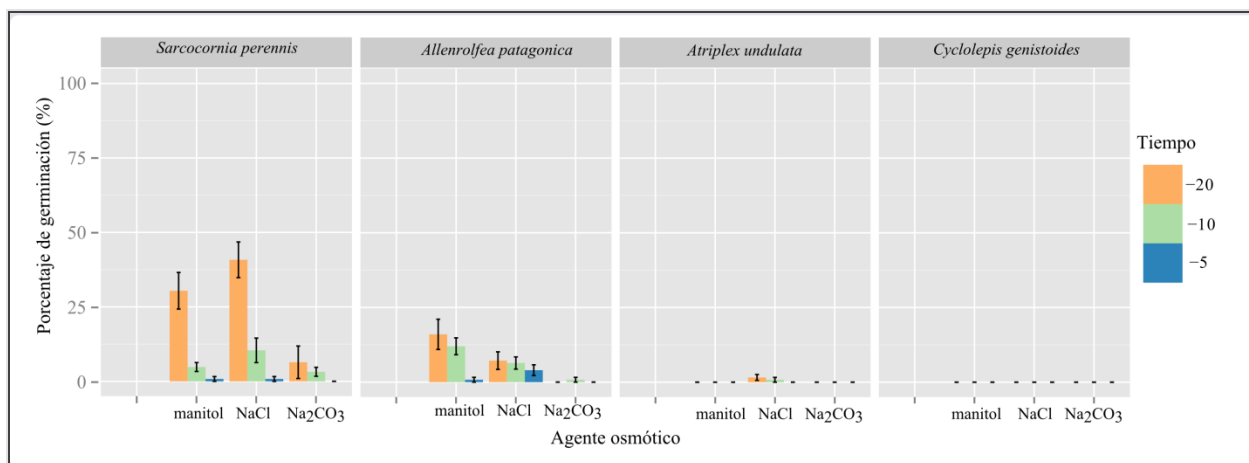


Figura 5.5. Se presenta el porcentaje medio de germinación para las distintas especies bajo estudio, durante el pretratamiento (previo a su transferencia al agua destilada). Los distintos colores representan diferente número de días de pretratamiento. En las abscisas se observan los agentes osmóticos utilizados.

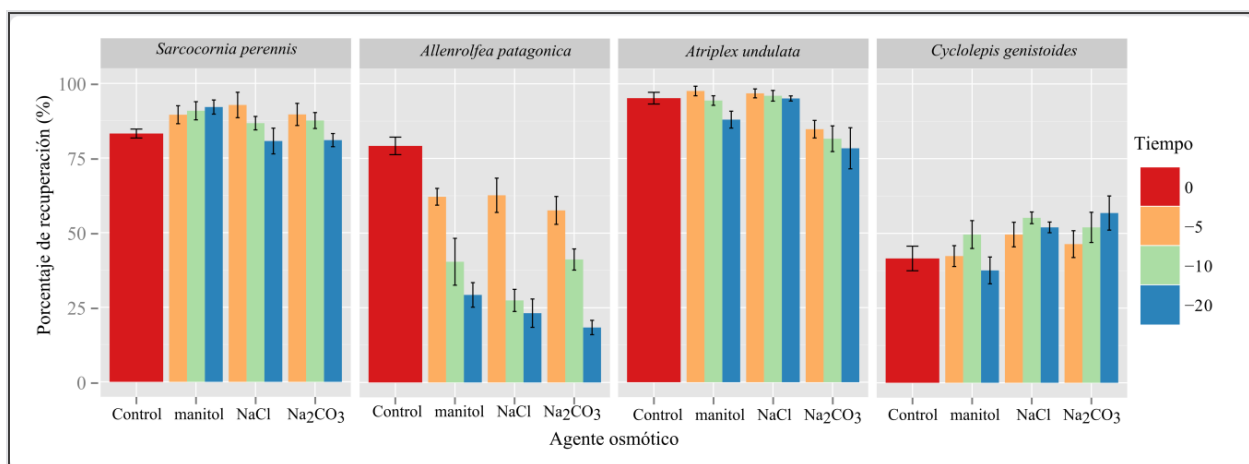


Figura 5.6. Se presenta el porcentaje medio de recuperación de la germinación para las distintas especies bajo estudio luego de transferirlas a agua destilada. Los distintos colores representan diferente número de días de pretratamiento, en rojo se muestra el control. En las abscisas se observan los agentes osmóticos utilizados.

En ninguna de las comparaciones por especie (Tabla 5.7) hubo una interacción, pero se observaron algunas diferencias significativas en los factores principales. Para *A. patagonica* se observó una disminución significativa en el PR % al aumentar tiempo de pretratamiento (59,98 % ± 2,41 %, 36,35 % ± 3,34 % y 23,63 % ± 2,39 % de recuperación para 5, 10 y 20 días de tratamiento, respectivamente). Mientras que para *A. undulata* y *C. genistoides* se observaron diferencias significativas entre los agentes osmóticos del pretratamiento. En el primer caso el PR % promedio del manitol y el NaCl (93,3 % ± 1,5 % y 95,9 % ± 0,8 %) fueron significativamente mayores que el Na₂CO₃ (81,6 % ± 2,75 %). Mientras que en el caso de *C. genistoides* el manitol

(42,9 % \pm 2,6 %) resultó significativamente menor que el NaCl y el Na₂CO₃ (52,3 % \pm 1,6 % y 52,0 % \pm 3,0 %). Finalmente *S. perennis* no mostró ninguna diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 5.7. Resultados de ANOVA para cada especie. gl=Grados de libertad, SC=Sumas de Cuadrado, % cv=porcentaje de contribución a la varianza. Las diferencias significativas están resaltadas en negrita.

	gl	<i>S. perennis</i>			<i>A. patagonica</i>		
		SC	p	% cv	SC	p	% cv
Tiempo(t)	2	279	0,0778	10,679	10203	<0,01	68,124
Agente osmótico (ao)	2	198,8	0,1562	7,609	234	0,342	1,562
t:ao	4	304,6	0,2233	11,659	722	0,171	4,821
Residuales	36	1830,2			3818		

	gl	<i>A. undulata</i>			<i>C.genistoides</i>		
		SC	p	% cv	SC	p	% cv
t	2	264,1	0,0935	6,634	307	0,189	6,421
ao	2	1755	<0,01	44,087	847	0,0141	17,716
t:ao	4	84,5	0,8038	2,123	459	0,2873	9,601
Residuales	36	1877,2			3168		

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la germinación de estas especies halófilas está influenciada tanto por el potencial osmótico como por el tipo de agente osmótico que se utiliza. Según lo observado, al disminuir el potencial osmótico también disminuye el PG %. Incluso para algunas de las especies no se observaron semillas germinadas en los tratamientos más fuertes. Esto coincide con el comportamiento habitual de las halófilas (Ungar, 1978), y fue reportado también para otras especies del género *Atriplex* (Ungar, 1996; Katembe *et al.*, 1998; Stevens *et al.*, 2006; Beadle, 1952), *Allenrolfea* (Gul y Weber, 1998; Blank *et al.*, 1994) y *Sarcocornia* (Redondo-Gómez *et al.*, 2004; Freitas y Costa, 2014).

En líneas generales los valores medios de PG % de las soluciones iso-osmóticas de NaCl y manitol no difieren entre sí. Esto estaría indicando que los efectos de esta sal sobre el PG % de estas especies serían principalmente osmóticos. Ungar (1978) también muestra que la germinación de ciertas especies no presenta diferencias entre el NaCl y PEG o manitol. El Na⁺ y el Cl⁻ se encuentran entre los iones más abundantes en los suelos del área de estudio y estas especies probablemente hayan co-evolucionado con esta condición. El Na₂CO₃ en cambio resultó en un detrimento del PG %, indicando que posiblemente haya algún efecto nocivo del pH sobre la germinación de estas especies. Otros trabajos también han detectado un menor porcentaje de germinación con esta sal que con NaCl, por ejemplo en el caso de *Chenopodium glaucum* (Duan *et al.*, 2004) o *Medicago ruthenica* (Guan *et al.*, 2009). El efecto interactivo de la combinación de sales neutras y sales alcalinas también ha sido estudiado, observándose un efecto negativo sobre la germinación de *Spartina alterniflora* (Li *et al.*, 2010) y *Suaeda glauca* (Guan *et al.*, 2013).

Los límites de tolerancia variaron según cada especie particular. Se puede decir que en este ensayo *C. genistoides* fue la especie menos resistente a los tratamientos salinos. Aunque en ensayos anteriores (Piovan *et al.*, 2013) pero con otras condiciones diferentes (compensando pérdidas por evaporación y desinfectando los frutos) se obtuvo germinación en potenciales osmóticos más bajos. Existe muy poca información relativa a la germinación de esta especie, sólo se encontró un trabajo que reporta un muy bajo poder germinativo en un ensayo a estufa a 25 ° durante 15 días (10 %) y plantea como posible razón de este valor la elevada formación de hongos debida al papus (Peter *et al.*, 2014). La remoción del papus en este ensayo no impidió la formación de hongos, pero posiblemente la aminoró.

Atriplex undulata presentó una germinación elevada a potenciales osmóticos bajos pero se observó que el potencial -1,5 MPa provocó un descenso marcado de la germinación. Otros estudios encontraron que a -1,5 MPa no había germinación para este especie (Stevens *et al.*, 2006) o a -2 MPa (Piovan *et al.*, 2014). El hecho de que las semillas no provengan de la misma población, o las condiciones a la que estuvo expuesta la planta madre podrían tener algún tipo de influencia sobre la resistencia a la salinidad de las semillas (Ungar, 1987). Beadle (1952), estudió la germinación de cinco *Atriplex* australianos: *A. nummularia*, *A. vesicaria*, *A. semibaccata*, *A. inflata* y *A. spongiosa*, y determinó que según la especie y el lugar de colección de la misma, la concentración de NaCl que previene la germinación varía entre 0,4 mol/L y 0,7 mol/L.

Heterostachys ritteriana mostró bajos porcentajes de germinación en general, pero germinó en todos los tratamientos. Aunque con un PG % más elevado, *A. patagonica* tuvo un patrón similar presentando menor PG % en los tratamientos con carbonatos. Para *Allenrolfea occidentalis* se observa una disminución significativa de la germinación a -2,4 MPa y un cese total de la misma a -4 MPa (Blank *et al.*, 1994). *Sarcocornia perennis* presentó germinación elevada en los tratamientos de mayor potencial osmótico, incluyendo el carbonato de sodio. Otros estudios han encontrado para esta especie valores de 16 % de germinación en soluciones 4 % NaCl (Redondo-Gómez *et al.*, 2004) y para especies relacionadas (*S. ambigua*) se encontró que niveles de salinidad superiores a 15 g/L provocan una disminución significativa en la germinación y 45 g/L pueden inhibirla, observándose valores tan bajos como un 3 %. Esta especie, así como *A. patagonica*, germina mejor en el tratamiento de temperaturas más bajas (20/10 °C) que en las temperaturas más altas, cuando los potenciales osmóticos son elevados. *H. ritteriana* también presentó influencia de la temperatura, aunque en este caso la respuesta fue más compleja y dependió del agente osmótico utilizado. En el campo se han observado plántulas de *A. undulata*, *S. perennis* y otras halófilas luego de lluvias fuertes, sin importar tanto la época del año (diciembre, junio, febrero).

La germinación luego de lluvias fuertes, permite el lavado de las sales y el descenso del potencial osmótico en el suelo. Los resultados obtenidos en el experimento de recuperación de la exposición al estrés salino sugieren que la mayoría de las especies germinan sin inconvenientes una vez que se removió el estrés. Varias halófitas que fueron expuestas a 1 M NaCl tuvieron porcentajes de recuperación superiores al 80 % (Khan y Gul, 2002). Para *Salicornia europea* y

Suaeda calceolifoemis se han observado altos PG % luego de su exposición a un estrés hipersalino durante dos años (Keiffer y Ungar, 1997).

Cyclolepis genistoides, *S. perennis* y *A. undulata* presentaron valores medios de porcentaje de recuperación iguales o superiores al control. En el caso de *A. patagonica* obtuvo baja germinación al aumentar el tiempo de exposición al agente osmótico. Esta especie al igual que *A. undulata* posee estructuras accesorias (bractéolas) que recubren el fruto y podría estar brindándole protección adicional contra las sales o previniendo la germinación en momentos poco favorables. Para otras especies del género *Atriplex* se ha descrito que las bractéolas que recubren el fruto poseen un elevado contenido de Cl^- que restringiría la germinación (Beadle, 1952).

Para las especies estudiadas, la producción anual de semillas es muy elevada, como generalmente ocurre con muchas halófilas. Se ha observado que los frutos se mantienen gran tiempo sobre la planta madre, habiéndose encontrado en *A. patagonica* camadas anteriores durante el momento de floración. Los mecanismos de dormancia mecánica y cierto grado de inhibición y recuperación a la salinidad serían factores importantes para sobrevivir en ambientes que puede presentar bajas precipitaciones durante varios años consecutivos.

La salinidad que tolera una semilla al germinar, puede diferir de la que tolera la planta adulta (Ayers, 1952). Las semillas de algunas halófilas son capaces de germinar a potenciales osmóticos menores a los que permiten la supervivencia de los adultos (Ungar, 1965). Lo cierto es que las especies que mejor germinaron en los tratamientos salinos *S. perennis*, *H. ritteriana* y en menor medida *A. patagonica* se encuentran expuestas a un gran estrés salino. Estas especies podrían actuar como nodrizas, es decir que podrían proveer condiciones microclimáticas que favorezcan el establecimiento de otras especies (Franco y Nobel, 1989), en el establecimiento de otras menos tolerantes como *C. genistoides* o *A. undulata*. De hecho se ha observado a estas especies creciendo en el centro de matas de *H. ritteriana* en el campo. Sin embargo es necesario realizar estudios en el campo que expliquen porque estas especies no están presentes donde el estrés disminuye.

Capítulo 6

Consideraciones finales

Capítulo 6. Consideraciones finales

6.1. Síntesis de los resultados más relevantes

Los resultados obtenidos han permitido incrementar el conocimiento existente sobre las asociaciones vegetales que se desarrollan en la zona costera de Bahía Blanca y de su relación con la hidrología y la geomorfología. Se han identificado ambientes que se encuentran fuera del alcance de las mareas, que tienen el potencial para funcionar como humedales perimarineros y se ha explorado el comportamiento germinativo de las especies más conspicuas del área de estudio, con respecto a concentración y tipo de sales.

Se realizó una clasificación jerárquica y conceptual de los ambientes presentes en el área en función de la hidrología dominante, determinada por el alcance de la marea y por la presencia y características de la vegetación. En el sector supramareal se identificaron los **arbustales dominados por chañar (chañarales), arbustales dominados por palo azul, arbustales dominados por *A. patagonica*, estepa halófila, marismas de *S. densiflora* y peladales**. En el sector afectado frecuentemente por mareas se identificaron **marismas de *S. perennis*, marismas de *S. alterniflora* y planicies de marea**. A partir de los muestreos llevados a cabo en el área de estudio, se caracterizaron las asociaciones vegetales en función de la composición y la abundancia de las especies que crecen en ellas. Se describieron, además, variaciones en el porcentaje de materia orgánica (los valores medios variaron entre 9 y 14,6 %) y la conductividad eléctrica (los valores medios variaron entre 3,1 y 12,8 mS/cm) entre los diferentes ambientes.

Las unidades geomorfológicas identificadas responden al pasado transgresivo del área de estudio durante el Holoceno. Si bien esta caracterización se basa en trabajos previos existentes, presenta la ventaja de integrar información de fuentes diversas en un sistema de información georreferenciado. En el mapa final se distinguen la Planicie Marina Antigua, la Planicie Marina Reciente, la Planicie Marina Actual y un Paleovalle de origen complejo. A través de relevamientos topográficos realizados con técnicas DGPS se establecieron los rangos de elevación que ocupan las diferentes unidades. El mapa de condición hidrológica realizado muestra las zonas que se inundan por efecto de las precipitaciones y las mareas, reflejando una parte de la variabilidad temporal. Este mapa resulta una herramienta de gran utilidad para localizar geográficamente zonas que presentan potencial para el desarrollo de ambientes de

humedal. Finalmente, en el mapa de vegetación, se muestra la ubicación espacial de las asociaciones de plantas determinadas en la Figura 2.17.

A través de la superposición de estos 3 mapas se pudieron relacionar la unidad geomorfológica y la condición hidrológica con la vegetación. Tanto el Paleovalle como la Planicie Marina Reciente están conformados por un gran porcentaje de sectores que durante períodos lluviosos se inundan o pueden permanecer saturados de agua, mientras que la Planicie Marina Antigua está dominada por sectores que permanecen secos. Se observó que las planicies de marea, marismas de *S. alterniflora* y *S. perennis* están en sectores inundados regularmente por la marea. En sectores de Planicie Reciente que se inundan con precipitaciones se desarrollan marismas de *S. densiflora*. Se observó estepa halófila y arbustales dominados por *A. patagonica* en sectores donde el suelo se satura con agua, principalmente en Planicie Marina Reciente y paleovalle y en menor medida en la Planicie Marina Antigua. Los arbustales dominados por *C. genistoides* están en sectores que permanecen secos en períodos húmedos y pueden crecer también en lugares donde el suelo se satura, mientras que los arbustales dominados por *G. decorticans* generalmente crecen donde el suelo permanece seco. Estas últimas dos clases se desarrollan principalmente en la Planicie Marina Antigua.

En el Capítulo 4 se estudió una marisma de *Spartina densiflora*. Esta es una de las asociaciones que crecen en la zona de Planicie Marina Reciente, en sectores que se inundan o permanecen saturados gran parte del tiempo. Estas marismas se desarrollan entre los 1,27 m y los 1,76 m \pm 0,2 m, en depresiones del terreno. En sectores bajos pueden desarrollarse peladales que permanecen inundados varios días luego de lluvias fuertes. La vegetación acompañante es *S. perennis* y en sectores más altos, donde desaparece *S. densiflora*, aparece *H. ritteriana* y *A. patagonica*. De acuerdo a los niveles medidos, en ciertos sectores estas marismas pueden ser alcanzadas por mareas extraordinarias. Sin embargo, la inundación prolongada que se observa se debe al aporte de agua por las precipitaciones, combinado con un drenaje deficiente debido a su posición cercana al nivel del mar. Esto se refleja en las fluctuaciones del nivel freático, que aumenta cuando ocurren lluvias, pero no muestra influencia de la marea. La conductividad eléctrica de los suelos es mayor cuanto más cerca de la planicie de marea se encuentren y disminuye notoriamente a distancias mayores, mientras que la altura y abundancia de *S. densiflora* es menor cuanto más cerca de la planicie de marea este.

En el Capítulo 5 se analizó uno de los factores que ha sido frecuentemente mencionado como determinante de la presencia de ciertas especies en estos ambientes: la salinidad. Se detectó que todas las especies estudiadas germinaban mejor en los tratamientos control o de alto potencial osmótico (baja concentración de sales), mientras que a menores potenciales (alta concentración de sales) el porcentaje de germinación se inhibía o disminuía. Se observó una interacción significativa entre el agente osmótico y el potencial osmótico. En bajas concentraciones, el manitol y el NaCl no difieren en cuanto al porcentaje medio de germinación. Al aumentar las concentraciones se observa un menor porcentaje de germinación en los tratamientos de manitol respecto al NaCl, indicando cierto grado de adaptación al NaCl de éstas especies. En los tratamientos con Na₂CO₃ se produjo una disminución marcada del porcentaje de germinación al aumentar la concentración, indicando un efecto negativo del pH sobre la germinación. No se detectaron efectos significativos del factor temperatura.

A partir del comportamiento individual de la germinación en cada especie se pueden inferir diferentes estrategias para la tolerancia a las sales. Por un lado la germinación de *Cyclolepis genistoides* es inhibida por las sales. Sin embargo, al remover las sales esta especie muestra una muy buena recuperación de la germinación. Esto indica que la especie aprovecha las disminuciones temporales de la salinidad, como por ejemplo las generadas por una lluvia fuerte, para germinar. Un caso similar es el de *Atriplex undulata*, cuya germinación disminuye notablemente al disminuir el potencial osmótico, aunque presenta valores elevados del porcentaje de recuperación. *Allenrolfea patagonica* germina bien a altas salinidades, pero no presenta una buena recuperación de la germinación al aumentar el tiempo de exposición a una salinidad muy alta. Otras especies germinan muy bien en alta salinidad y se recuperan muy bien; éste es el caso de *Sarcocornia perennis*. En cuanto al efecto de la temperatura, solo presentaron efectos significativos las especies: *A. patagonica*, *Heterostachys ritteriana* y *Sarcocornia perennis*.

De acuerdo a la tolerancia de cada especie a las sales, se podría decir que *Sarcocornia perennis* y *Allenrolfea patagonica* fueron las más resistentes, *H. ritteriana* sería una especie intermedia y por último *Atriplex undulata* y *Cyclolepis genistoides* presentaron un menor porcentaje de germinación en las salinidades más altas. Esto contribuye parcialmente a explicar su distribución en el campo, ya que la posibilidad de recuperación de un estrés salino causado por diferentes agentes osmóticos y diferentes tiempos de exposición juega sin dudas un papel

importante. Para entender más profundamente el efecto de la salinidad falta aún determinar cómo influyen las sales en el establecimiento, crecimiento y persistencia de todas estas especies, pues es sabido que la influencia de las sales varía con el estadio de las plantas.

Esta tesis permite establecer algunos lineamientos para la clasificación de los humedales costeros en la zona de Bahía Blanca. De acuerdo al sistema de clasificación del HGM, los humedales que se hallan en las márgenes de estuarios, donde dominan los flujos mareales bidireccionales dados por las corrientes de mareas, son humedales de FRANJAS ESTUARIALES (Brinson, 1993). De acuerdo a nuestros resultados, toda la Planicie Marina Actual y la franja de menor elevación comprendida dentro de la Planicie Marina Reciente y el Paleovalle estarían incluidos dentro de esta clase. A medida que aumenta la elevación del terreno empieza a disminuir la influencia de las mareas y es cada vez más importante el aporte continental.

En la Planicie Marina Reciente, las depresiones que ocupan las marismas de *S. densiflora* se encuentran inundadas o con suelo saturado en forma casi permanente. Por el tipo de aporte que reciben (precipitaciones y aporte subterráneo) se tratarán de humedales DEPRESIONALES. Los sectores que se inundan en la Planicie Marina Antigua se ubican al pie de una pendiente pronunciada, que marca el límite de la ingesión marina. Debido a su posición, es posible que los altos niveles de humedad dependan de la infiltración desde los niveles superiores, ubicados por fuera del área de estudio. Los suelos en esta zona de mayor humedad suelen presentar un color blanquecino debido a la acumulación de sales por ascenso capilar. El tipo de costra salina que se observa comunmente en este ambiente es similar a “copos de nieve” y es una característica considerada indicador de suelos asociados a humedales en zonas áridas/semiáridas. Sería de gran interés profundizar el estudio de estos ambientes, caracterizados por la presencia de arbustales de *A. patagonica* en la Planicie Marina Antigua, ya que podría tratarse de humedales efímeros, que se encuentran saturados por agua únicamente durante períodos húmedos. De acuerdo al origen del agua, principalmente por infiltración desde tierras más altas, estos humedales se ubicarían dentro de la clase EN PENDIENTES.

6.2. Alcances y limitaciones

Con respecto al límite entre la Planicie Marina Actual y la Planicie Marina Reciente, este trabajo presenta una limitación importante debido a que dicho límite fue delineado a partir de la imagen satelital adquirida durante el nivel de marea más alto registrado en la serie temporal disponible. Además, dado que la onda de marea se propaga a lo largo del Canal Principal, las pleamares y bajamares no ocurren en forma sincrónica sobre toda la escena Landsat. Debido a esta aproximación el límite de la unidad no refleja necesariamente el alcance real de las mareas y los relevamientos topográficos indican que una parte de la unidad identificada como Planicie Marina Reciente recibe, aunque con muy baja frecuencia, inundación por mareas. Esta limitación se traslada al mapa de vegetación, ya que las marismas de *S. perennis* son espectralmente muy similares a la estepa halófila y se tomó como criterio de separación de ambas clases al límite de influencia de las mareas. Para mapear este límite con mejor precisión, sería ideal contar con un DEM de alta resolución.

Otro punto que merece ser estudiado con más detalle es la dinámica del agua subterránea y sus variaciones en respuesta al régimen de precipitaciones. Todo el trabajo se desarrolló durante un período seco, por lo tanto no se cuenta con mediciones de los freáticos, ni se conoce la superficie real que se inunda durante períodos húmedos. A su vez no se cuenta con un registro continuo para la fluctuación del agua dentro de los freáticos, debido a que no había suficientes sensores para poder monitorear todos los pozos. Por lo que se optó por colocarlos solo en los sitios donde crecía *S. densiflora*.

La influencia de las sales al momento de la germinación contribuye a explicar la presencia de ciertas especies en las distintas asociaciones, pero los resultados fueron contradictorios en algunos casos. Se esperaba que *H. ritteriana* fuera una especie con gran tolerancia a la salinidad, ya que crece en la estepa halófila donde las conductividades eléctricas son muy altas. Sin embargo, si bien presentó cierto porcentaje de germinación a potenciales osmóticos bajos, en líneas generales tuvo una germinación baja. *Atriplex undulata*, una especie que fue poco tolerante, crece principalmente en arbustales de palo azul y chañaral, pero también puede observarse en otros ambientes que presentan mayores conductividades eléctricas. En estos casos habría que analizar si existen otros factores que influyan sobre la distribución de estas especies, como la tolerancia a la inundación y también si existe algún tipo de interacción

biológica que permite su establecimiento en estos sitios. Sería muy interesante realizar, por un lado, estudios a escala local, donde se pueda observar el efecto de una especie sobre las demás, ya sea para su establecimiento o para su desplazamiento y por otro, experimentos donde se observe el efecto de la inundación prolongada, tanto de agua dulce como salada, sobre algunas de las especies.

Referencias bibliográficas.

- Aceituno P (1988) On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review* 115: 505-524.
- Adam P (1990) *Saltmarsh Ecology*. Cambridge Studies in Ecology. 461 pp. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press. 461 pp.
- Aguirre ML (1995) Cambios ambientales en la región costera bonaerense durante el Cuaternario tardío. *Evidencias Malacológicas*. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses Actas I: 35-40, Junín.
- Aliotta S, Farinati E (1990) Stratigraphy of Holocene sand-shell ridges in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Geology* 94: 353-360.
- Al-Karaki GN (2001) Salt stress response of salt-sensitive and tolerant durum wheat cultivars inoculated with mycorrhizal fungi. *Acta Agronomica Hungarica* 49: 25-34.
- Alvarez MP, Carol E, Hernández MA, Bouza PJ (2015) Groundwater dynamic, temperature and salinity response to the tide in Patagonian marshes: Observations on a coastal wetland in San Jose Gulf, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 62: 1-11.
- Anderson DL (1976) Invasión del chañar (*Geoffroea decorticans* (Gill. ex H. et A.) Burk.) en los pastizales de la provincia de San Luis (Argentina). VII Reunión Argentina de Malezas y su control. Tomo IV: 31-45.
- Anderson DL (1977) Las causas de la invasión de chañar en el área medanosa de pastizales e isletas de chañar. En: Limitación en la producción ganadera de San Luis debido a las leñosas invasoras. pp.11-13. Gobierno de la provincia de San Luis, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Andreoli RV, Kayano MT (2005) ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold pacific decadal oscillation regimes. *International Journal of Climatology* 25: 2017–2030.
- Angeles GR (2001) Estudio integrado del estuario de Bahía Blanca. Tesis doctoral. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía. 166 pp.
- Ashraf M, Foolad MR (2005) Pre-sowing seed treatment – A shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy* 88: 223-271.
- Ayers AD (1952) Seed germination as affected by soil moisture and salinity. *Agronomy Journal* 44: 82-84.

- Baker C, Thomson JR, Simpson M (2009) Hydrological Dynamics I: Surface Waters, Flood and Sediment Dynamics. En: The Wetlands Handbook (Eds. Maltby E, Barker T). Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK. 800 pp.
- Baker DN, Whisler FD, Parton WL, Klepper EL, Cole CV, Willis WO, Smika DE, Black, AL, Bauer A (1985) The development of Winter Wheat: a physical physiological process model. En: Wheat Yield Project (ed Willis WO), pp. 176-187. ARS-38, USDA Agricultural Research Service, National Technical Information Service, Springfield, VA.
- Ball DF (1964) Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *Journal of Soil Science* 15(1): 84-92.
- Bartlett DS, Klemas V (1981) In situ spectral reflectance studies of tidal wetland grasses. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 47: 1695–1703.
- Beadle WC (1952) Studies in halophytes. I. The germination of the seed and establishment of the seedlings of five species of *Atriplex* in Australia. *Ecology* 33: 49-62.
- Bertness MD, Callaway R (1994) Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 191–193.
- Blank RR, Young JA, Martens E, Palmquist DE (1994) Influence of temperature and osmotic potential on germination of *Allenrolfea occidentalis* seeds. *Journal of Arid Environments* 26: 339-347.
- Boettinger JL (1997) Aquisalids (Salorthids) and other wet saline and alkaline soils. Problems identifying aquic conditions and hydric soils. En: Problems of Identifying Hydric soils (Eds MJ Vepraskas, S Sprecher), pp. 79-97. Soil Science Society of America Special Publication N° 50, Madison WI.
- Bohn VY, Piccolo MC, Perillo GME (2011) Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de Climatología* 11: 31-44.
- Bortolus A (2001) Interacciones ecológicas entre el cangrejo cavador *Chasmagnathus granulata* y los espartillares de *Spartina densiflora*, mesofauna asociada y características del sustrato en la laguna costera Mar Chiquita (Buenos Aires, Argentina). Tesis doctoral. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata. 167 pp.
- Bortolus A (2006) The austral cordgrass *Spartina densiflora* Brong.: its taxonomy, biogeography and natural history. *Journal of Biogeography* 33: 158–168.
- Bortolus A, Schwindt, E, Bouza PJ, Idaszkin YL (2009) A characterization of Patagonian salt marshes. *Wetlands* 29: 772–780.

- Bortolus A, Carlton JT, Schwindt E (2015) Reimagining South American coasts: unveiling the hidden invasion history of an iconic ecological engineer. *Diversity and Distributions* 21(11): 1267-1283.
- Brinson MM (1993) A hydrogeomorphic classification for wetlands, Technical Report WRP-DE-4, U.S. Army Corps of Engineers Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 101 pp.
- Brinson MM, Kruczynski W, Lee LC, Nutter WL, Smith RD, Whigham DF (1994) Developing an approach to assessing the functions of wetlands. En: *Global Wetlands: Old World and New* (ed WJ Mitsch) pp. 615-624. Elsevier Sciences B V., Amsterdam.
- Bruniard ED (1982) La diagonal Árida Argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica* 95: 6-20.
- Burkart R, Bárbaro NO, Sánchez RO, Gómez DA (1999) Ecorregiones de la Argentina, Buenos Aires, Administración de Parques Nacionales. 42 pp.
- Butera MK (1983) Remote sensing of wetlands. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing GE-* 21: 383-392.
- Cabrera AL (1971). *Fitogeografía de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 14:1-42.
- Cabrera AL (1967) *Flora de la Provincia de Buenos Aires*, 6 vols. Colección Científica del INTA. Buenos Aires.
- Cagnoni M (1999) Espartillares de la costa bonaerense de la República Argentina. Un caso de humedales costeros. En *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica* (ed. I Malvarez) pp. 51-67. MAB, UNESCO.
- Cagnoni M, Faggi AM (1993) La vegetación de la Reserva de Vida Silvestre Campos del Tuyú. *Parodiana* 8: 101-112.
- Campo A, Capelli A, Diez P (2004) *El clima del Sudoeste Bonaerense*. Bahía Blanca, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. 99 pp.
- Campo A, Ramos M, Zapperi P (2009) Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el Suroeste bonaerense, Argentina. XII Encuentro de Geógrafos de América Latina. Montevideo, Uruguay.
- Capelli de Steffens A, Campo A (1994) La transición climática en el Sudoeste bonaerense. *SIGEO* 5, Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur Departamento de Geografía. 76 pp.

- Carter V, Garrett MK, Shima L, Gammon P (1977). The Great Dismal Swamp: management of a hydrologic resource with the aid of remote sensing. *Water Resources Bulletin* 13: 1-12.
- Castillo JM, Fernández-Baco L, Castellanos EM, Luque CJ, Figueroa ME, Davy AJ (2000) Lower limits of *Spartina densiflora* and *S. maritima* in a Mediterranean salt marsh determined by different ecophysiological tolerances. *Journal of Ecology* 88(5): 801-802.
- Cavallotto JL, Violante RA, Parker G (2004) Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata River (Argentina). *Quaternary International* 114: 155-165.
- Chapman VJ (1942) The new perspective in the halophytes. *The Quarterly Review of Biology* 17: 291-311.
- Chapman VJ (1974) *Salt Marshes and Salt Deserts of the World*. Interscience Press. New York, New York, USA. 392 pp.
- Chávez PS Jr (1988) An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: 459-479.
- Chávez PS Jr, Mackinnon DJ (1994) Automatic detection of vegetation changes in the Southwestern United States using remotely sensed images. *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60(5): 571-583.
- Cintron-Molero G, Schaeffer Novelli Y (2002) *A guide to wetlands on arid and semiarid zones*. USFWS División of International Conservation, USA
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-43.
- Collantes MB, Faggi AM (1999) Los humedales del sur de Sudamérica. En: *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica* (ed. AI Malvárez) pp. 15-27. UNESCO, Montevideo, Uruguay.
- Costa CSB (1997) Tidal marshes and wetlands. En: *Subtropical convergence environments: the coast and sea in the warm-temperate southwestern Atlantic* (eds. U Seeliger, C Odebrecht, JP Castello) pp. 24-26. Springer-Verlag, Berlin.
- Costa CSB, Marangoni JC, Azevedo AMG (2003) Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Journal of Ecology* 91: 951-965.
- Cowardin RM, Carter V, Golet FC, LaRoe ET (1979) *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. USDI Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-79/31. 103 pp.

- Delgado AL (2013) Estudio integrado ambiental de la plataforma continental interior y media de la zona de El Rincón, Argentina. Tesis doctoral. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía. 191 pp.
- Dobson JE, Bright EA, Ferguson RL, Field DW, Wood LL, Haddad KD, Iredale H, Jensen JR, Klemas VV, Orth RJ, Thomas JP (1995). NOAA Coastal Change Analysis Program: Guidance for Regional Implementation, NOAA Technical Report NMFS 123, April, U.S Dept of Commerce, Seattle, Washington. 92 pp.
- Duan D, Liu X, Khan MA, Gul B (2004) Effects of salt and water stress on the seed germination of *Chenopodium glaucum* L.. Pakistan Journal of Botany 36: 793-800.
- Echeverría JC, Molinero HB (1991) El chañar en San Luis. Problema y control: Revisión. Centro Regional La Pampa-San Luis. Estación Experimental Agropecuaria San Luis. Información técnica 117. 30 pp.
- Eicher AL (1987) Salt marsh vascular plant distribution in relation to tidal elevation, Humboldt Bay, California. Tesis de Magister. Humboldt State University. Arcata, California, USA. 94 pp.
- Farinati E (1983) Paleontología, Paleoecología y Paleogeografía de los sedimentos marinos de los alrededores de Bahía Blanca. Tesis Doctoral. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Ciencias Naturales. 79 pp.
- Flowers TJ, Colmer TD (2008) Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist 179: 945-963.
- Fortune PM, Schierenbeck K, Ayres D, Bortolus A, Catrice O, Brown S, Ainouche ML (2008) The enigmatic invasive *Spartina densiflora*: A history of hybridizations in a polyploidy context. Molecular Ecology 17: 4304-4316.
- Franco AC, Nobel PS (1989) Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. Journal of Ecology 77: 870-886.
- Frazier PS, Page KJ (2000) Water body detection and delineation with Landsat TM data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66(12): 1461-1467.
- Freitas RF, Costa CSB (2014) Germination responses to salt stress of two intertidal populations of the perennial glasswort *Sarcocornia ambigua*. Aquatic Botany 117: 12-17.
- Gabella J, Zapperi P, Campo A (2010) Distribución estacional de las precipitaciones en el Suroeste bonaerense. Actas de las VIII Jornadas de Geografía Física, Posadas.
- Garcia SR, Kayano MT (2006) South American monsoon during the two phases of the Pacific Decadal Oscillation. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil.

- Gardner LR, Reeves HW, Thibodeau PM (2002) Groundwater dynamics along forest-marsh transects in a southeastern salt marsh, USA: Description, interpretation and challenges for numerical modeling. *Wetland Ecology and Management* 10: 145-159.
- Gil ME, Andrada AC, Pellegrini CN (2011) Atributos florísticos de la Cueva de los Leones, Bahía Blanca, Argentina. Resúmenes de las III Jornadas Argentinas de Ecología de Paisajes.
- Gil V, Zapperi P, Campo A, Iuorno MV, Ramborger MA (2008) Análisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense. VII Jornadas de Geografía Física. Universidad Católica de Santiago del Estero. San Salvador de Jujuy.
- Glave A (2006) Influencia climática en el sudoeste bonaerense y sudeste de La Pampa. *Acaecer* 31(360): 18-23.
- Gómez EA, Perillo GME(1995) Submarine Outcrops underneath Shoreface Connected Sand Ridges, outer Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Quaternary of South America & Antarctic Península* 9: 23-23.
- Gonzalez MA (1989) Holocene Levels in the Bahía Blanca Estuary, Argentine Republic. *Journal of Coastal Research* 5(1): 65-77.
- González MA, Panarello HO, Marino H, Valencio SA (1983) Niveles marinos del Holoceno en el estuario de Bahía Blanca (Argentina). Isótopos estables y microfósiles calcáreos como indicadores paleoambientales. *Actas, Simp. Osc. del Nivel del Mar durante el Ultimo Hemiciclo Deglacial en la Argentina, UNMDP, Mar del Plata*
- Gonzalez de Uriarte M (1984) Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. IX Congreso Geológico. *Actas III: 556-576.*
- González Trilla G (2010) Patrones de biomasa de *Spartina* SPP. en dos marismas costeras de la provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 143 pp.
- González Trilla G, Borro MM, Morandeira NS, Schivo F, Kandus P, Marcovecchio J (2013) Allometric scaling of dry weight and leaf area for *Spartina densiflora* and *Spartina alterniflora* in two Southwest Atlantic saltmarshes. *Journal of Coastal Research* 29(6): 1373-1381.
- Greenway H, Munns R (1980) Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 31: 149–190.

- Grime JP, Campbell BD (1991) Growth rate, habitat productivity, and plant strategy as predictors of stress response. En: Response of Plants to Multiple Stresses. (eds HA Mooney, WE Winner, EJ Pell) pp.143- 159. Academic Press, San Diego.
- Gross MF (1989) CMS researchers use satellites to measure the health of wetlands. Sea, College of Marine Studies Newsletter, University of Delaware 9(3): 1-2.
- Guan B, Zhou D, Zhang H, Tian Y, Japhet W, Wang P (2009) Germination responses of *Medicago ruthenica* seeds to salinity, alkalinity, and temperature. Journal of Arid Environments 73(1): 135-138.
- Guan B, Lin Q, Zhou D, Yu J (2013) Germination strategies of *Suaeda* species for saline-alkaline environments. African Journal of Agricultural Research 8(8): 690-694.
- Gul B, Weber DJ (1998) Effect of dormancy relieving compounds on the seed germination of *Allenrolfea occidentalis* under Salinity Stress. Annals of Botany 82: 555–560.
- Hageman BP (1969) Development of the western part of the Netherlands during the Holocene. Geologie en Mijnbouw 48: 373-388.
- Hardisky MA, Gross MF, Klemas V (1986) Remote sensing of coastal wetlands. BioScience 36: 453–460.
- Henderson RE, Patrick WH (1982) Soil aeration and plant productivity. En: Handbook of Agricultural Productivity, vol1 (eds MRechagl) pp. 51-69. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Holmgren M, Scheffer M, Huston MA (1997) The Interplay of Facilitation and Competition in Plant Communities. Ecology 78(7): 1966-1975.
- Idaszkin YL, Bortolus A (2011) Does low temperature prevent *Spartina alterniflora* from expanding toward the austral-most salt marshes?. Plant Ecology 212(4): 553-561.
- Isacch J, Costa C, Rodriguez-Gallego L, Conde D, Escapa M, Gagliardini D, Iribarne O (2006) Distribution of salt marsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the south-west Atlantic coast. Journal of Biogeography 33: 888-900.
- Iribarne O, Bruschetti M, Escapa M, Bava J, Botto F, Gutierrez J, Palomo G, Delhey K, Petracci P, Gagliardini A (2005) Small- and large-scale effect of the SW Atlantic burrowing crab *Chasmagnathus granulatus* on habitat use by migratory shorebirds. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 315: 87–101.
- Isla FII (1989) Holocene sea-level fluctuation in the southern hemisphere. Quaternary Science Reviews 8: 359-368.

- Isla FII, Espinosa M, Gerpe MS, Iantanos N, Menone ML, Miglioranza KSB, Ondarza PM, Gonzalez M, Bértola G, Aizpún JE, Moreno VJ (2010) Patagonian salt marshes: The soil effects on the NDVI response. *Thalassas* 26(1): 23-31.
- Joshi AJ, Mali BS, Hinglajia H (2005) Salt tolerance at germination and early growth of two forage grasses growing in marshy habitats. *Environmental and Experimental Botany* 54(3): 267-274.
- Katembe WJ, Ungar IA, Mitchell JP (1998) Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species (Chenopodiaceae). *Annals of Botany* 82: 167-175.
- Kaufman YJ (1993) Aerosol optical thickness and atmospheric path radiance. *Journal of Geophysical Research* 98: 2677-2692.
- Kayano MT, Andreoli RV (2007) Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *International Journal of Climatology* 27: 531-540.
- Keiffer CH, Ungar IA (1997) The effect of extended exposure to hypersaline conditions on the germination of five inland halophyte species. *American Journal of Botany* 84: 104–111.
- Khan MA, Ungar IA (1997) Effect of thermoperiod on recovery of seed germination of halophytes from saline conditions. *American Journal of Botany* 84: 279–283.
- Khan MA, Ungar IA, Showalter AM (2000) Effects of Salinity on Growth, Water Relations and Ion Accumulation of the Subtropical Perennial Halophyte, *Atriplex griffithii* var. *Stocksii*. *Annals of Botany* 85: 225-232.
- Khan MA, Gul B (2002) Some ecophysiological aspects of seed germination in halophytes. En: *Halophyte Utilization and Regional Sustainable Development of Agriculture* (eds Liu X, Liu M) pp. 56–68. Meteorological Press, Beijing, China.
- Kittelson PM, Boyd MJ (1997) Mechanisms of expansion for an introduced species of cordgrass, *Spartina densiflora*, in Humboldt Bay, California. *Estuaries* 20: 770–778.
- Kousky VE, Ropelewski CF (1989) Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. *Revista Brasileira de Meteorología* 4: 351-363.
- Krüger HR (1989) Suelos halomórficos de la Bahía Blanca. Dinámica de sales y relación con la vegetación. Tesis de Magister. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía.
- Krüger HR, Peinemann N (1991) Distribución de sales en una secuencia de suelos costeros de la Bahía Blanca (Argentina). *Suelo y Planta* 1: 363-376.

- Krüger HR, Peinemann N (1996) Coastal plain halophytes and their relation to soil ionic composition. *Vegetatio* 122: 143-150. 125 pp.
- Kunz DM (2009) Ecological effects of rising sea level on shorezone. Tesis de Magister, Facultad del Departamento de Biología, East Carolina University. 177 pp.
- Lamberto SA (1981) Vegetación de la hoja I.G.M. 3963-17 Bahía Blanca Bahía Blanca, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Manuscrito inédito. 14 pp.
- Li C, Fang B, Yang C, Shi D, Wang D (2009) Effects of various salt-alkaline mixed stresses on the state of mineral elements in nutrient solutions and the growth of alkali resistant halophyte *Chloris virgata*. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1137-1147.
- Li R, Shi F, Fukuda K (2010) Interactive effects of salt and alkali stresses on seed germination, germination recovery, and seedling growth of a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae). *South African Journal of Botany* 76: 380-387.
- Liu J, Zhou H, Quin P, Zhou J (2007) Effects of *Spartina alterniflora* salt marshes on organic carbon acquisition in intertidal zones of Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering* 30: 240-249.
- Ludewig K, Zelle B, Eckstein RL, Mosner E, Otte A, Donath TW (2014) Differential effects of reduced water potential on the germination of floodplain grassland species indicative of wet and dry habitats. *Seed Science Research* 24: 49-61.
- Mateos Naranjo E, Redondo-Gómez S, Luque CJ, Castellanos EM, Davy AJ, Figueroa ME (2008) Environmental limitations on recruitment from seed in invasive *Spartina densiflora* on a southern European salt marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79:727-732.
- Mateucci SD, Colma A (1982) Metodología para el estudio de la vegetación. Monografía n° 22, Serie Biología, OEA, Washington. 168 pp.
- Mazzon C, Pratolongo P, Perillo GME (2009) Análisis de cambios en la cobertura de las marismas del estuario de Bahía Blanca mediante el uso de matrices de transición e índices kappa. En: VII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar ; XV Coloquio de Oceanografía. Bahía Blanca, Argentina.
- Melo WD (2004) Génesis del estuario de Bahía Blanca: Relación morfodinámica y temporal con su cuenca hidrográfica. Tesis doctoral. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía. 215 pp.

- Melo WD, Schillizzi R, Perillo GME, Piccolo MC (2003) Influencia del area continental pampeana en la evolución morfológica del estuario de Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 10: 37-50.
- Mitsch WJ, Gosselink JG (2000) *Wetlands*, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, NY. 920 pp.
- Mobberley DG (1956) Taxonomy and distribution of the genus *Spartina*. *Iowa State College Journal of Science* 30: 471-574.
- Munns R (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
- Nebbia AJ, Zalba SM (2007) Comunidades halófilas de la costa de Bahía Blanca (Argentina): Caracterización, mapeo y cambio durante los últimos cincuenta años. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42 (3-4): 261-271.
- Nieva FJJ, Luque C (1996) Odiel Marshes. En: *Management of Mediterranean Wetlands III* (eds C Murillo, L González) pp. 381–399. España, Ministerio de Medio Ambiente.
- Nieva FJJ, Díaz-Espejo A, Castellanos EM, Figueroa ME (2001) Field variability of invading populations of *Spartina densiflora* Brong. in different habitats of the Odiel Marshes (SW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52: 515–527.
- Nieva FJJ, Castillo JM, Luque CJ, Figueroa ME (2003) Ecophysiology of tidal and non-tidal populations of the invading cordgrass *Spartina densiflora*: seasonal and diurnal patterns in a Mediterranean climate. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57: 1–10.
- Olson DM, Dinerstein E, Wikramanayake ED, Burgess N, Powell GVN, Underwood ED, Amico JA, Strand HE, Morrison JC, Loucks CJ, Allnutt TF, Ricketts TH, Kura Y, Lamoreux JF, Wettengel WW, Hedao P, Kassem KR (2001) Terrestrial eco-regions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51: 933–938.
- Ozesmi SL, Bauer ME (2002) Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 10(5):381–402.
- Pennings SC, Bertness MD (2001) Salt marsh communities. En: *Marine community ecology* (eds Bertness MD, Gaines SD, Hay M) pp. 289–316. Sinauer Associates, Sunderland.
- Pérez Cuadra V (2012) Anatomía ecológica de la vegetación del Salitral de la Vidriera. Tesis Doctoral. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Biología Bioquímica y Farmacia. 199 pp.
- Perillo GME, Piccolo MC (1990) Physical characteristics of the Bahia Blanca estuary (Argentina). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 31(3): 303-317.

- Perillo GME, Piccolo MC, Parodi E, Freije RH (2001) The Bahía Blanca Estuary, Argentina. En: Coastal Marine Ecosystems of Latin America (eds Seeliger U, Kjerfve) pp.205-217. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Perillo GME (2009) Tidal courses: classification, origin and functionality. En: Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach (eds GME Perillo, E Wolanski, DR Cahoon, MM Brinson) pp. 185-209. Elsevier, Amsterdam.
- Peter G, Leder CV, Calvo DA, Cruz AM, Torres Robles SS (2014) Evaluación de tratamientos pregerminativos en seis especies nativas del ecotono monte-espinal de la Patagonia. *BioScriba* 7(1): 1-10.
- Piccolo MC, Capelli de Steffens A, Campo de Ferreras A (2002) La sequía del año 1995 en el sur de la región pampeana argentina. En: Desastres Naturales en América Latina (eds J Lugo, M Inbar) pp. 189-206. Fondo de Cultura Económica, México.
- Piccolo MC (2008) Climatological features of the Bahia Blanca estuary. En: Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America (eds Neves R, Barreta J, Mateus M) pp. 231-239. IST Press, Lisboa, Portugal.
- Piovan MJ, Zapperi GM, Pratolongo PD (2013) Resistencia a la salinidad de dos especies halófilas: *Atriplex undulata* y *Cyclolepis genistoides*. XXXIV Jornadas Argentinas de Botánica. La Plata, Argentina.
- Piovan MJ, Zapperi GM, Pratolongo PD (2014) Seed germination of *Atriplex undulata* under saline and alkaline conditions. *Seed Science & Technology* 42: 1-7.
- Piovan MJ, Pratolongo PD, Zapperi GM, Perillo GME(2014) Aplicación de herramientas de teledetección satelital y SIG para caracterizar a los humedales costeros de Bahía Blanca. 2^{das} Jornadas de las Tecnologías de Información Geográfica del Sur Argentino. Bahía Blanca, Argentina.
- Pirazzoli PA (1991) World atlas of Holocene sea-level changes. Elsevier Oceanographic Series 58, Elsevier, Amsterdam. 299 pp.
- Plater A, Kirby J (2006) The potential for perimarine wetlands as an ecohydrological and phytotechnological management tool in the Guadiana estuary, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70: 98-108.
- Poljakoff-Mayber A, Somers GF, Werker E, Gallagher JL (1994) Seeds of *Kosteletzkya virginica* (Malvaceae): their structure, germination, and salt tolerance. II. Germination and salt tolerance. *American Journal of Botany* 81: 54-59.
- Pratolongo P, Platter A, Kirby J, Brinson M (2009) Temperate Coastal Wetlands: Morphology, Sediment Processes, and Plant Communities. En: Coastal wetlands: an integrated

- ecosystem approach (eds GME Perillo, E Wolanski, DR Cahoon, MM Brinson) pp. 88-118. Elsevier, Amsterdam.
- Pratolongo P, Mazzon C, Zapperi G, Piovan MJ, Brinson MM (2013) Land cover changes in tidal salt marshes of the Bahía Blanca estuary (Argentina) during the past 40 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 133:23-31.
- Qu X-X, Huang Z-Y, Baskin JM, Baskin CC (2008) Effect of Temperature, Light and Salinity on Seed Germination and Radicle Growth of the Geographically Widespread Halophyte Shrub *Halocnemum strobilaceum*. *Annals of Botany* 101: 293–299.
- Redondo-Gómez S, Rubio-Casal AE, Castillo JM, Luque CJ, Álvarez AA, Luque T, Figueroa ME (2004) Influences of salinity and light on germination of three *Sarcocornia* taxa with contrasted habitats. *Aquatic Botany* 78(3): 255-264.
- Revollo Sarmiento NG (2015) Procesamiento inteligente de imágenes para el modelado geomorfológico. Tesis doctoral. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Ingeniería. 216 pp.
- Rodwell JS (1995) *British Plant Communities*. Volume 4. Aquatic communities, swamps and tall-herb fens. Cambridge University Press. 295 pp.
- Rostami K, Peltier WR, Mangini A (2000) Quaternary marine terraces, sea-level changes and uplift history of Patagonia, Argentina: comparisons with predictions of the ICE-4G (VM2) model of the global process of glacial isostatic adjustment. *Quaternary Science Reviews* 19: 1495-1525.
- Salisbury FB, Ross CW (1994). *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica S. A de C. V. México. 759 pp.
- Shi DC, Yin LJ (1993) Difference between salt (NaCl) and alkaline (Na₂CO₃) stresses on *Puccinellia tenuiflora* (Griseb.) Scribn. et Merr. plants. *Acta Botanica Sinica* 35: 144–149.
- Song C, Woodcock CE, Seto KC, Lenney MP, Macomber SA (2001) Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and how to correct atmospheric effects?. *Remote Sensing of Environment* 75: 230-244.
- Sosa L, Llanes A, Reinoso H, Reginato M, Luna V (2005) Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of Botany* 96: 261-267.
- Spagnuolo JO (2005) Evolución geológica de la región costera-marina de Punta Alta, provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología. 269 pp.

- Spiers AG, Finlayson CM (1999) An assessment of the extent of wetland inventory data held in Australia. En: Techniques for Enhanced Wetland Inventory, Assessment and Monitoring (eds Finlayson CM, Spiers AG) pp. 44-82. Supervising Scientist Report 147, Supervising Scientist Group, Canberra.
- Stevens JC, Barret-Lennard EG, Dixon KW (2006) Enhancing the germination of three fodder shrubs (*Atriplex amnicola*, *A. nummularia*, *A. undulata*; Chenopodiaceae): implications for the optimization of field establishment. Australian Journal of Agricultural Research 57: 1279-1289.
- Tang C, Turner NC (1999) The influence of alkalinity and water stress on the stomatal conductance, photosynthetic rate and growth of *Lupinus angustifolius* L. and *Lupinus pilosus* Murr.. Australian Journal of Experimental Agriculture 39: 457-464.
- Teillet PM, Barker JL, Markham BL, Irish RR, Fedosejevs G, Storey JC (2001) Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. Remote Sensing of Environment 78: 39-54.
- Tester M, Davenport R (2003) Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. Annals of Botany 91(5): 503-527.
- Thibodeau PM, Gardner LR, Reeves HW (1998) The role of groundwater flow in controlling the spatial distribution of soil salinity and rooted macrophytes in a southeastern salt marsh, USA. Mangroves and Salt Marshes 2: 1-13.
- Tiner RW (1999) Wetland Indicators: A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification, and Mapping. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida. 418 pp.
- Underwood AJ (1997) Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 524 pp.
- Ungar IA (1962) Influence of salinity on seed germination in succulent halophyte. Ecology 43: 763-764.
- Ungar IA (1965) An ecological study of the vegetation of the Big Sat Marsh, Stafford County, Kansas. The University of Kansas science bulletin 46(1):1-98.
- Ungar IA (1978) Halophyte seed germination. Botanical Review 44: 233-264.
- Ungar IA (1987) Population ecology of halophyte seeds. Botanical Review 53: 301-334.
- Ungar IA (1991) Ecophysiology of Vascular Halophytes. CRC, Boca Ratón, Florida. 108 pp.
- Ungar IA (1996) Effects of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). American Journal of Botany 83: 604-607.

- United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS) (2008) Hydrogeomorphic Wetland Classification System: An Overview and Modification to Better Meet the Needs of the Natural Resources Conservation Service. Technical Note No. 190–8–76. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Verbist K, Santibañez F, Gabriels D, Soto G (2010) Atlas de Zonas Áridas de América Latina y El Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC. 48 pp.
- Verettoni HN (1961) Las asociaciones halófilas del Partido de Bahía Blanca. Edición de la autora. Bahía Blanca, Argentina. 103 pp.
- Verettoni HN (1962) La salinidad de los suelos y el problema biológico y agrícola de las plantas tolerantes a la sal de la zona de Bahía Blanca. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 40 pp.
- Verettoni HN (1974) Las Comunidades Vegetales de la Región de Bahía Blanca. Edición de la autora. Bahía Blanca, Argentina. 168 pp.
- Vicari R, Fischer S, Madanes N, Bonaventura S, Pancotto V (2002) Tiller population dynamics and production of *Spartina densiflora* (Brong) on the flood plain of the Parana River (Argentina). *Wetlands* 22(2): 347–354.
- Wang H, Wu Z, Chen Y, Yang C, Shi D (2011) Effects of salt and alkali stresses on growth and ion balance in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant, Soil and Environment* 57(6): 286-294.
- Wolanski E, Brinson MM, Cahoon DR, Perillo GME (2009) Coastal wetlands: A synthesis. En: Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach (eds GME Perillo, E Wolanski, DR Cahoon, MM Brinson) pp. 1-62. Elsevier, Amsterdam.
- Yang C, Chong J, Li C, Kim C, Shi D, Wang D (2007) Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkali resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to salt and alkali conditions. *Plant and soil* 294(1): 263-276.
- Yang CW, Jianaer A, Li CY, Shi DC, Wang DL (2008) Comparison of the effects of salt-stress and alkali-stress on photosynthesis and energy storage of an alkali-resistant halophyte *Chloris virgata*. *Photosynthetica* 46: 273–278.
- Yang C, Xu H, Wang L, Liu J, Shi D, Wang D (2009) Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. *Photosynthetica* 47: 79–86.
- Yeo A (1998) Molecular biology of salt tolerance in the context of whole plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49: 915–929.

Zhang M, Ustin SL, Rejmankova E, Sanderson EW (1997) Monitoring Pacific Coast salt marshes using remote sensing. *Ecological Applications* 7: 1039-1053.

Zia S, Khan MA (2004) Effect of light, salinity and temperature on the germination of *Limonium stocksii*. *Canadian Journal of Botany* 82: 151-157.