



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY



PEDECIBA  
Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas  
Universidad de la República - Ministerio de Educación y Cultura

**Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas**  
**Opción Ecología y Evolución**

**FRAGMENTACIÓN Y CONECTIVIDAD DEL PAISAJE  
COSTERO PARA VERTEBRADOS E INVERTEBRADOS  
PRIORITARIOS PARA LA CONSERVACIÓN**

**María Lucía Bartesaghi Villardino**

**15 de diciembre de 2015**

## **Fragmentación y conectividad del paisaje costero para vertebrados e invertebrados prioritarios para la conservación**

Lic. María Lucía Bartesaghi Villardino ([lubarte@gmail.com](mailto:lubarte@gmail.com))

Directores de Tesis

PhD. Alvaro Soutullo Bugallo ([a.soutullo@gmail.com](mailto:a.soutullo@gmail.com))

PhD. Marcel Achkar Borrás ([achkar@fcien.edu.uy](mailto:achkar@fcien.edu.uy))

Tribunal

Presidente: Dr. Alvar Carranza

Vocal: Dra. Lorena Rodríguez-Gallego

Vocal: Dra. Ana Borthagaray

## **Resumen**

La pérdida y fragmentación de hábitat como consecuencia de las actividades antrópicas constituyen algunas de las principales causas de la disminución de la biodiversidad. La fragmentación de hábitat disminuye la conectividad del paisaje, afectando negativamente la viabilidad de las poblaciones y la estructura de las comunidades. La conectividad del paisaje comprende la conectividad estructural (configuración espacial de los elementos del paisaje) y funcional (movimiento de las especies entre parches de hábitat). La zona costera uruguaya ha sufrido procesos de transformación, que han reducido la extensión de gran parte de sus ecosistemas a áreas relictuales. La intensificación de las actividades antrópicas sobre el paisaje costero atlántico asociado a la implementación de los instrumentos de ordenamiento territorial representa impactos potenciales sobre estos ecosistemas así como para la conectividad de las especies que los habitan. Los bosques y matorrales costeros ocupan en la costa atlántica menos de 1000 hectáreas y representan hábitats de especial importancia para especies prioritarias para la conservación (EPC). Se realizaron análisis de conectividad funcional en el marco de las teorías de grafos espaciales y de circuitos para identificar los sitios del paisaje costero de mayor relevancia para mantener la diversidad de vertebrados e invertebrados prioritarios para la conservación que utilizan el matorral y bosque costero. Son 23 EPC las que utilizan estos ecosistemas como hábitat principal, tres de las cuales presentan mayor vulnerabilidad a la pérdida de hábitat y disminución de la conectividad. Las zonas de mayor relevancia para mantener la conectividad funcional de las 23 especies se verán fuertemente impactadas tras la implementación de los instrumentos de ordenamiento territorial sobre la zona costera, asociados a procesos de urbanización. La presente tesis constituye un insumo de relevancia para una gestión del paisaje costero que busque disminuir o evitar los efectos negativos de la pérdida de hábitat sobre la biodiversidad.

## **Summary**

The habitat loss and fragmentation due to human activities are some of the main causes of biodiversity declination. Habitat fragmentation reduces landscape connectivity and in consequence the viability of populations and community structure. Landscape connectivity includes structural connectivity (spatial configuration of landscape elements) and functional (movement of species between patches of habitat). The Uruguayan coast has undergone processes of transformation, which have reduced to areas relict the extent of many of its ecosystems. The intensification of human activities on the atlantic coastal landscape associated with the implementation of land management instruments have potential impacts on these ecosystems as well as the connectivity of the species that inhabit them. The forests and scrub on the atlantic coast occupy less than 1000 hectares and represent habitats of special importance to priority species for conservation (PSC). Analysis of functional connectivity in the context of theories of spatial graphs and circuit were performed to identify sites of the coastal landscape more relevant to maintaining the diversity of vertebrates and invertebrates of priority for conservation that use the coastal scrub and forest. 23 PSC are those that use these ecosystems as primary habitat, three of which are more vulnerable to habitat loss and decreased connectivity. The areas most important to maintain the functional connectivity of the 23 species will be strongly impacted following the implementation of land management instruments on the coastal zone associated with urbanization. This thesis it's an input of relevance to the management of the coastal landscape, which looks for the reduction or avoidance of the negative effects of habitat loss on biodiversity.

## **Agradecimientos**

Al Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (PEDECIBA) por brindar el marco institucional y académico en el que se desarrolló la maestría.

A mis tutores Alvaro y Marcel, por su orientación a lo largo de la maestría y en especial en la tesis; por su apertura a abordar nuevos temas, por el tiempo dedicado y la paciencia y voluntad de responder en tiempos acotados en momentos clave.

A la Comisión Académica de Posgrado (CAP) de la Universidad de la República, por la financiación a través de la modalidad de Apoyo a Finalización de Posgrado.

A los especialistas que aceptaron participar en las consultas de la tesis, Diego Arrieta, Claudio Borteiro, Gabriel Laufer, Inés da Rosa, Santiago Carreira, Joaquín Aldabe, Pablo Rocca, Matilde Alfaro, Gonzalo Cortéz, Diego Caballero, Enrique González, Juan Andrés Martínez, Ana Laura Rodales, Daniel Hernández, Fabrizio Scarabino y Cristhian Clavijo, por su dedicación, voluntad y apertura a brindar su conocimiento; sin quienes la tesis no hubiera sido posible.

Al tribunal, Alvar, Lorena y Ana Por sus valiosos aportes a la tesis, la que mejoró sustancialmente gracias a los mismos.

A la DINAMA, y en particular el SNAP por el reconocimiento del desarrollo de la Maestría como de interés para la institución.

A los compañeros de la maestría, fundamentales a lo largo de todo el proceso, con quienes nos apoyamos mutuamente y de quienes aprendí mucho.

A mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera académica, sin el cual no habría sido posible.

A mis amigas y amigos por su apoyo constante.

A Mauro por brindarme su apoyo y ayuda constante a nivel académico, espiritual y emocional, por estar en los momentos críticos y en los sencillos, por estar; y por compartir la aventura de la nueva etapa que comienza en nuestras vidas... nuestra hija.

<b>Índice</b>	
<b>Introducción y antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>Objetivos</b>	<b>6</b>
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
<b>Metodología y área de estudio</b>	<b>6</b>
Área de estudio	6
Diseño metodológico	7
Obtención de datos	9
Atributos del paisaje	9
Atributos de las especies	12
Análisis de datos	15
Identificación de EPC más vulnerables a la configuración actual del paisaje e identificación de sitios de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad actual del paisaje	16
Identificación de sitios de relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario de desarrollo basado en los instrumentos de ordenamiento territorial	21
<b>Resultados</b>	<b>23</b>
Atributos del paisaje	23
Atributos de las especies	27
Especies más sensibles a la fragmentación y pérdida de hábitat	30
Análisis de grafos espaciales	30
Análisis de circuitos	34
Sitios de mayor relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario actual	38
Parches de matorral y bosque costeros críticos para el mantenimiento de la conectividad global del paisaje	38
Sitios de la matriz del paisaje de mayor importancia para el mantenimiento del flujo de individuos entre parches de matorral y bosque costero	40
Sitios de mayor relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario de desarrollo	42
<b>Discusión</b>	<b>45</b>
Especies más vulnerables a los efectos de la fragmentación y pérdida de hábitat de matorral y bosque costero atlántico, dada la configuración actual del paisaje	46
Sitios de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad actual del paisaje	48
Sitios de relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario de desarrollo	50
<b>Conclusiones</b>	<b>51</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>54</b>
<b>Anexos</b>	<b>62</b>
Anexo I. Consulta a expertos	62
Anexo II. Cobertura del suelo y utilización por especies	71
Anexo III. Lista de especies prioritarias para la conservación que utilizan el matorral y/o bosque costero como hábitat primario o secundario	72
Anexo IV. Intensidad de uso de cobertura del suelo por especie cuyo hábitat principal lo constituye el matorral y/o bosque psamófilo	75
Anexo V. Resultados de análisis de grafos espaciales	76

## Introducción y Antecedentes

Una de las principales causas de disminución de la biodiversidad es la destrucción y degradación de hábitat, producto de actividades antrópicas (Pimm y Askins, 1995; Fahrig, 2003; Haddad *et al.*, 2015). La destrucción del hábitat puede resultar en su fragmentación, disminuyendo el tamaño de los parches y aumentando las distancias entre éstos, generando así un mayor aislamiento (Ewers y Didham, 2006; Ferrari *et al.*, 2007). La reducción del área disminuye el tiempo de residencia de los animales en los fragmentos, y el incremento del aislamiento reduce el movimiento entre éstos, reduciendo la recolonización de parches luego de extinciones locales (MacArthur y Wilson, 1967; Hanski, 1999; Haddad *et al.*, 2015). El aislamiento de parches de hábitat reduce la conectividad del paisaje, lo que afecta negativamente la viabilidad de las poblaciones (Margules *et al.*, 1994) y, en consecuencia, la estructura de la comunidad (Fahrig, 2003; Haddad *et al.*, 2015). Estos cambios generalmente muestran tendencias de reducción de abundancia y riqueza de aves, mamíferos, insectos y plantas (Haddad *et al.*, 2015). En tal sentido, mantener la conectividad del paisaje es clave para la conservación de la biodiversidad.

La selección de parches de hábitat para su conservación está asociada a tres atributos principales, el tamaño, la calidad y la conectividad (Minor y Urban, 2007). En general, las especies presentan requerimientos mínimos en el *tamaño* de parches de hábitat, siendo los parches de mayor tamaño aquellos que pueden sustentar mayor cantidad de individuos (Ewers y Didham, 2006). La proximidad a las urbanizaciones así como otras actividades antrópicas disminuyen la *calidad* de los parches de hábitat afectando así la abundancia y éxito reproductivo de las especies (Weinberg y Roth, 1998). A su vez, los parches más *conectados* por dispersión presentan mayor probabilidad de ser recolonizados, luego de extinciones locales, que los parches aislados (Minor y Urban, 2007).

La conectividad del paisaje es el grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento de las especies y otros flujos ecológicos entre parches de hábitat (Taylor *et al.*, 1993). La conectividad del paisaje constituye el efecto combinado de la conectividad estructural y funcional (Tischendorf y Fahrig, 2000). La conectividad estructural refiere al grado en que los elementos del paisaje son contiguos o están físicamente unidos a otros y la conectividad funcional se asocia a los flujos de individuos entre los elementos del paisaje determinados por los atributos de las especies (Tischendorf y Fahrig, 2000). En este sentido la conectividad del

paisaje es especie y paisaje específico y depende de: a) la configuración o arreglo espacial de los hábitats en el paisaje, b) la heterogeneidad en la calidad de hábitat, de acuerdo a diferencias de densidad u otros atributos y c) la escala, de acuerdo a la especie focal considerada (Tischendorf y Fahrig, 2000). La conectividad funcional del paisaje depende de la especie focal que se utilice para evaluarla, ya que las especies perciben de forma distinta el paisaje (Keitt *et al.*, 1997; Borthagaray *et al.*, 2012; 2014). Un mismo paisaje con cierto grado de fragmentación puede presentar una alta conectividad para especies con gran capacidad de dispersión, y una baja conectividad para especies con escasa capacidad de dispersión (Keitt *et al.*, 1997). Por otro lado, Fagan y Calabrese (2006), de acuerdo a los métodos e información que se utilizan para evaluar la conectividad funcional, diferencian entre conectividad real y potencial. La conectividad real se corresponde con la conectividad evaluada en campo a partir de datos de movimientos de las especies (Fagan y Calabrese, 2006). La conectividad potencial refiere a las métricas que utilizan atributos de las especies (habilidad de movimiento) en conjunto con las relaciones espaciales con los elementos del paisaje, y generalmente es evaluada a partir de datos inferidos (Fagan y Calabrese, 2006).

La teoría de grafos (Harary, 1969) busca analizar la eficiencia de flujos en redes mediante la modelación de relaciones pareadas entre objetos (Fall *et al.*, 2007). Un grafo constituye un objeto matemático compuesto por nodos (representados por puntos, y también llamados vértices) y links (representados por líneas, y también denominados arcos), que implican conexiones entre pares de nodos (Harary, 1969). Su utilización para cuantificar aspectos funcionales y relacionales en ecología es reciente y asociada principalmente a análisis metapoblacionales y de redes tróficas, siendo más incipiente su utilización en ecología del paisaje, biología de la conservación (Bunn *et al.*, 2000) y análisis de metacomunidades (*i.e.* Keitt *et al.*, 1997, Urban y Keitt, 2001; Ferrari *et al.*, 2007; Minor y Urban, 2007; Borthagaray *et al.*, 2012; 2015). Para aplicaciones a nivel de paisaje, la teoría de grafos combina datos espacialmente explícitos de hábitat (nodos) con información sobre la capacidad de dispersión de especies (links) (Keitt *et al.*, 1997; Urban y Keitt, 2001). Desde la perspectiva de las especies, el paisaje se compone de un conjunto de parches que constituyen hábitats adecuados que se encuentran en una matriz de hábitat no adecuado, a través de los cuales las especies deben moverse para trasladarse entre parches de hábitat. Los links, estructurales (corredores) o funcionales (flujos), implican que los organismos pueden potencialmente moverse entre los parches conectados. Mediante la aplicación de la teoría de grafos se analiza la conectividad potencial del paisaje, combinando los atributos físicos del paisaje con información limitada de

habilidad de dispersión, para predecir cuan conectado se percibe un paisaje por una determinada especie (Calabrese y Fagan, 2004; Fagan y Calabrese, 2006). El compromiso entre el requerimiento de datos y precisión en los resultados alcanzados mediante el análisis de grafos, es considerado propicio frente a otros métodos (Fagan y Calabrese, 2006; Minor y Urban, 2007). Es así que bajo este marco teórico han surgido variados índices para evaluar la conectividad del paisaje, considerando distintos aspectos de la topología de la red (Bodin y Saura, 2010). En tal sentido, ha demostrado un gran potencial para representar los patrones del paisaje, la red de parches funcionalmente interconectados y evaluar la conectividad del paisaje (Urban y Keitt, 2001). No obstante, Moilanen (2011) plantea algunas debilidades de la teoría de grafos que deben ser consideradas al momento de utilizarla en la planificación espacial para la conservación. Entre éstas cabe mencionar la simplificación que implica la teoría de grafos en el movimiento de especies (asociada a la pérdida de información) y las limitaciones computacionales al utilizar información espacial de alta resolución.

Una modificación de la teoría de grafos para su aplicación en estudios de ecología de paisaje es la teoría de grafos espaciales, que incorpora un componente espacialmente explícito a los nodos y links (Fall *et al.*, 2007). En los grafos espaciales, los nodos están georreferenciados en dos dimensiones, por lo que tienen asociada una forma y superficie. Los links entre nodos siguen una determinada ruta espacial, no constituyen líneas rectas que unen los nodos por las distancias más cortas, sino que las distancias están ponderadas por los costos de traslado a través de diversas coberturas de la matriz (Fall *et al.*, 2007). Con el mismo objetivo de incorporar la matriz en la evaluación de la conectividad del paisaje se ha avanzado en la articulación de la teoría de circuitos y la teoría de grafos, donde la matriz que separa parches de hábitat se presenta con distintos niveles de resistencia a los movimientos de individuos de acuerdo a su posibilidad de movimiento a través de distintos tipos de cobertura (McRae *et al.*, 2008). Bajo este abordaje se considera al paisaje como superficies conductivas, y se utilizan las resistencias, el voltaje y la corriente para predecir aspectos del movimiento y la conectividad. Se basa en que determinados procesos ecológicos, como el flujo génico, pueden seguir un camino de mínima resistencia, análogo a cómo funcionan los circuitos eléctricos (McRae, 2006; McRae y Beier, 2007). La resistencia del paisaje es una medida de cuán fácil un organismo puede migrar o dispersarse a través de un territorio, basado en las características de los elementos del paisaje (Rose, 2013). Recientemente se ha avanzado en desarrollos metodológicos que buscan integrar los abordajes grafos y de circuitos en el análisis de

conectividad del paisaje para la identificación de prioridades de conservación (Gurrutxaga y Saura, 2012; Rayfield *et al.*, 2015).

Si bien la aplicación de la teoría de grafos en el análisis de conectividad del paisaje ha sido utilizada con mayor frecuencia considerando una única especie focal, puede ser utilizada para analizar la conectividad del paisaje para múltiples especies simultáneamente (Calabrese y Fagan, 2004; Minor y Urban, 2007). Recientemente, se han realizado abordajes de múltiples especies mediante la generación de redes para cada especie o grupo de especies y su posterior combinación (Brás *et al.*, 2013; Borthagaray *et al.*, 2015; Rayfield *et al.*, 2015). Esta aproximación permite una evaluación más amplia para definir prioridades de conservación, y concentrar la atención en aquellos parches que contribuyen a una mayor proporción de las especies de interés.

La definición de prioridades de conservación de la biodiversidad generalmente plantea conflictos con el desarrollo de usos productivos (Sarkar *et al.*, 2006; Pressey *et al.*, 2007). La planificación espacial para la conservación puede realizarse buscando reducir los conflictos entre conservación y usos del suelo alternativos mediante la identificación de zonas del paisaje más relevantes para cada uso, buscando conformar un mosaico de usos en los que cada uno ocupa el lugar de mayor prioridad para sus fines (Moilanen *et al.*, 2011). La consideración de distintos escenarios en el proceso de planificación espacial para la conservación, incorporando los usos del suelo permite evaluar las configuraciones espaciales y sus costos en efectividad de conservación bajo distintas decisiones de planificación (Moilanen *et al.*, 2011).

Las zonas costeras constituyen unidades territoriales de importante concentración de actividades antrópicas que generan drásticas modificaciones en el paisaje costero (Vernberg y Vernberg, 2001). En Uruguay, las alteraciones del paisaje costero generadas por diversas actividades como el turismo, urbanización no planificada, forestación, incendios, minería (extracción de arena), ganadería y agricultura, han fragmentado y reducido la extensión de sus ecosistemas (Legrand, 1959; Alonso-Paz y Bassagoda, 2002). En particular, los ecosistemas de matorrales y bosques costeros (o psamófilos) han sido afectados por dichos procesos, reduciendo su extensión a áreas relictuales (Delfino *et al.*, 2005), con distintos niveles de disturbio, que en toda la costa uruguaya ocupan 3800 hectáreas (0,02% de la superficie terrestre del país) (Ríos *et al.*, 2011). Considerando la escasa superficie que ocupan los matorrales y bosques costeros, han sido identificados como ecosistemas amenazados

(Brazeiro *et al.*, 2015), de acuerdo a los criterios propuestos por Rodríguez *et al.* (2011). En tal sentido han sido identificados como objetos de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) de Uruguay (Soutullo *et al.*, 2009; Suarez-Pirez y Soutullo, 2013; SNAP-MVOTMA, 2015), que requieren especiales esfuerzos de protección en el marco del manejo de áreas protegidas (Soutullo *et al.*, 2009). Estas formaciones vegetales leñosas constituyen hábitat de especial importancia para determinadas Especies Prioritarias para la Conservación (EPC) (Soutullo *et al.*, 2010). Las EPC comprenden especies que están amenazadas y especies que requieren especial atención al momento de planificar estrategias tanto de conservación en el marco de áreas protegidas, como de uso sustentable (Soutullo *et al.*, 2010). Parte de la superficie de matorral y bosque costero atlántico se encuentra dentro de áreas protegidas ingresadas al SNAP (Laguna Garzón, Laguna de Rocha, Cabo Polonio y Cerro Verde), sin embargo no se ha analizado aún si la conectividad entre dichas áreas protegidas es adecuada para las especies prioritarias que se busca conservar.

Actualmente, existe un conjunto de planes y directrices de ordenamiento territorial para la zona costera atlántica, en proceso de aprobación o aprobados, que implican la transformación en mayor o menor medida de los ecosistemas que la componen (construcción de puerto de aguas profundas, puente sobre Laguna Garzón y desarrollo urbanístico y de infraestructura vial asociada, densificación de balnearios con baja cobertura natural modificada, etc.) (DINOT, 2004; IMMaldonado-ITU, 2009; JDM, 2010a; JDM, 2010b; IDR, 2010; PE, 2012). Bajo el supuesto de que en el corto plazo se prevé una mayor intensificación de actividades antrópicas en la costa atlántica, considerando la coyuntura actual y los planes de desarrollo productivo y urbano para la zona, analizar la conectividad de los parches relictuales de matorral y bosque costero resulta de especial interés para evaluar prioridades de conservación y restauración espacialmente explícitas. En este sentido, modelar el cambio de la configuración del paisaje permite anticiparse a las nuevas presiones y desarrollar estrategias que permitan evitar o disminuir los efectos negativos sobre los objetivos de conservación. Entender la conectividad del paisaje costero atlántico para las diversas EPC de vertebrados e invertebrados que utilizan los ecosistemas de matorral y bosque es necesario para orientar la toma de decisiones en la gestión del territorio y disminuir o evitar los efectos negativos de la pérdida de hábitat sobre la biodiversidad ante el escenario de desarrollo asociado a la implementación de los planes y directrices de ordenamiento territorial de la costa atlántica.

## **Objetivos**

### Objetivo general

Identificar los sitios del paisaje costero atlántico de mayor relevancia para el mantenimiento de la diversidad de vertebrados e invertebrados prioritarios para la conservación que utilizan el matorral y bosque costero.

### Objetivos específicos

1. Identificar las especies de vertebrados e invertebrados prioritarios para la conservación más vulnerables a los efectos de la fragmentación y pérdida de hábitat de matorral y bosque costero atlántico, dada la configuración actual del paisaje.
2. Identificar los sitios de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad del paisaje actual para todas las especies.
3. Identificar los sectores del territorio de mayor relevancia para mantener la conectividad del paisaje para las distintas especies en un escenario de desarrollo asociado a la implementación de los instrumentos de ordenamiento territorial.

## **Metodología y área de estudio**

### Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca atlántica de Uruguay, ubicada en los departamentos de Rocha y Maldonado, entre las latitudes 33°40'42.33'' y 34°58'30.36'' S y las longitudes 53°22'5.39'' y 55°10'10.92'' W (**Fig. 1**). Abarca una superficie aproximada de 760.000 hectáreas. A lo largo de la faja costera del área de estudio se distribuyen los ecosistemas de matorral y bosque costero. La matriz que rodea a estos ecosistemas varía de acuerdo al nivel de modificación del paisaje costero, existiendo matrices con predominio de pradera, humedales, forestación o urbanización, que definen un mosaico de ecosistemas con diverso grado de antropización. De acuerdo a Ríos y colaboradores (2011), los parches de matorral y bosque costero de la cuenca atlántica se diferencian de los parches del Río de la Plata en su composición florística. Esta zona, si bien presenta un relativo alto nivel de naturalidad en comparación con el resto de la costa, es donde se espera que el nivel de transformación de uso

del suelo en los próximos años sea mayor, según los planes de ordenamiento territorial aprobados o en proceso de aprobación.



**Figura 1.** Ubicación y delimitación del área de estudio (Cuenca Atlántica). Las unidades de las coordenadas señaladas en la figura de la derecha se encuentran en metros (Sistema de referencia UTM 21S WGS 1984).

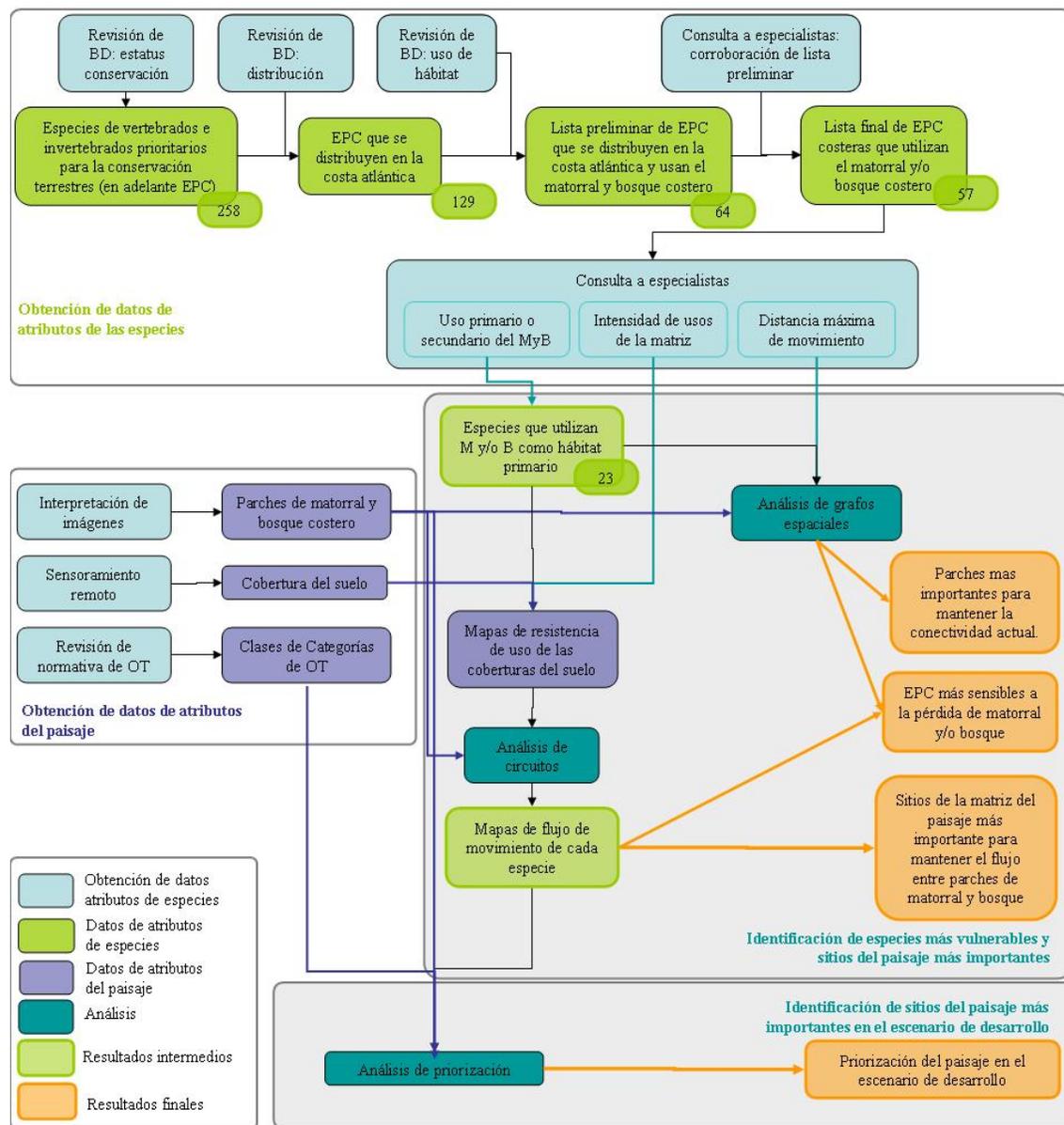
Los ecosistemas de matorral y bosque costero se distribuyen de forma parcheada, resultado de la disposición natural asociada a las características físicas de la zona, así como producto de la fragmentación asociada a las actividades antrópicas. A lo largo del área de estudio se distribuyen alrededor de 1900 parches de matorral y bosque costero, que ocupan en el entorno de 900 hectáreas. La densidad de cobertura de los parches varía como respuesta a disturbios, producidos principalmente por las actividades pecuaria y urbana (Ríos *et al.*, 2011).

De acuerdo a trabajos previos (Soutullo *et al.*, 2010; 2013; Brazeiro *et al.*, 2012), 64 especies de vertebrados e invertebrados terrestres prioritarios para la conservación (anfibios, aves, mamíferos, reptiles y moluscos) utilizan los ecosistemas de matorral y bosque costero.

### Diseño metodológico

Como abordaje metodológico se combinó el desarrollo y utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG), análisis de conectividad abordados desde la teoría de grafos espaciales y teoría de circuitos, y análisis de priorización espacial, incorporando

sensoramiento remoto, consulta a especialistas y revisión bibliográfica para la recopilación de datos (Fig. 2).



**Figura 2.** Esquema metodológico. Los bloques blancos indican los procesos de obtención de datos, los grises indican los procesos de análisis de datos y la obtención de resultados de cada análisis para la situación actual y para el escenario de desarrollo. Los números indicados en los pequeños polígonos verdes indican el número de especies. BD: base de datos, EPC: especies prioritarias para la conservación, M: matorral costero, B: bosque costero, y OT: ordenamiento territorial.

## Obtención de datos

La información requerida para los análisis de conectividad se divide en dos niveles: 1) los atributos del paisaje (nodos y matriz) y 2) los atributos de las especies (links) (Urban y Keitt, 2001). A nivel de los atributos del paisaje, es necesario definir: a) la delimitación de los parches de hábitat, que permitirá obtener los datos de ubicación, tamaño, forma e identidad (matorral o bosque), b) la calidad de los parches, c) la identidad de la matriz (tipos de coberturas que rodean a los parches de hábitat), y d) la cobertura potencial del suelo en el escenario de desarrollo. A nivel de los atributos de las especies, es necesario definir: a) los requerimientos de hábitat de las especies, b) la probabilidad de movimiento a través de la matriz que rodea los parches de hábitat, y c) la distancia máxima de movimiento. A continuación se detallan los procedimientos realizados para la obtención de datos a cada nivel.

### *1) Atributos del paisaje*

#### *a) Delimitación de los parches de hábitat (matorral y bosque psamófilo)*

Como información de base para el mapeo de los nodos focales se utilizó la cobertura vectorial desarrollada por Ríos y colaboradores (2011), que contiene la delimitación de los parches de matorral y bosque costero verificada en campo. La delimitación y caracterización cualitativa de dicha información fue revisada mediante teledetección e interpretación de imágenes Bing (Microsoft, 2010) en el proceso de desarrollo del SIG, mediante la utilización del *software* ArcGIS 10 (ESRI, 2010), considerando para ello a Bartesaghi (2007) como referencia. Dicho proceso involucró también la digitalización de nuevos parches. Una vez revisado el conjunto de parches, se procedió a su clasificación en matorral o bosque mediante la interpretación visual de las imágenes, y se le asignó el atributo de superficie, a través de la función de cálculo de geometría de ArcGIS.

#### *b) Definición de la calidad de los parches de hábitat*

La calidad de los parches se determinó según la densidad de cobertura, definida a través de interpretación visual de las imágenes, utilizando como referencia de datos confirmados en campo por Bartesaghi (2007). Para la asignación del atributo de densidad de cobertura se consideraron tres categorías: baja, media y alta. La estimación de la densidad de cobertura de cada parche se realizó considerando el porcentaje de cobertura del dosel dentro del parche digitalizado. Las categorías de densidad de cobertura se tradujeron en variable numérica

asignando a los parches de densidad baja el valor de 0.33, a los de densidad media 0.66 y a los de densidad alta un valor de 1. A partir de esta cobertura, mediante la extensión Conefor Input para ArcGIS 10 (Jenness, 2011), se generaron las redes (archivos de nodos y links) utilizadas posteriormente en el análisis de conectividad basados en la teoría de grafos espaciales. Las redes se componen considerando los bordes de los parches (los links se establecen entre bordes de parches).

### *c) Determinación de la identidad de la matriz*

Previo a la definición de la identidad de la matriz se generó un área de influencia de 300 m en torno al área de estudio para evitar los efectos de borde artificiales de los mapas, que generan sobreestimación de los valores de resistencia y afectan los resultados de los análisis de conectividad (Koen *et al.*, 2010).

La definición del mosaico de ecosistemas de la cuenca atlántica y su área de influencia de 300 m que conforman la matriz que rodea a los nodos focales de matorral y bosque, se realizó mediante sensoramiento remoto, utilizando imágenes satelitales LANDSAT 8 del 25 setiembre de 2014 (Path: 222, Rows: 083 y 084), obtenidas del sitio *web* del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Estas imágenes presentan una resolución de 30 m y se componen de 9 bandas espectrales tomadas por los sensores Operational Land Imager (OLI) y 2 bandas térmicas capturadas por el Thermal Infrared Sensor (TIRS) (USGS, 2013).

A partir de las bandas disponibles se realizó una composición de imagen Falso Color combinando las bandas del sensor OLI: 6 infrarrojo (longitud de onda  $\lambda = 1.57 - 1.65 \mu\text{m}$ ), 5 infrarrojo cercano ( $\lambda = 0.85 - 0.88 \mu\text{m}$ ) y 4 rojo ( $\lambda = 0.64 - 0.67 \mu\text{m}$ ) en los canales R:G:B respectivamente. Esta composición fue utilizada para el procesamiento de las imágenes, el que se realizó mediante el uso del *software* ERDAS 8.7 (Leica Geosystems, 2003).

A partir de las imágenes satelitales se elaboró el Índice Normal de Vegetación (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index), que representa una función de bandas espectrales 5 y 4, correspondientes al infrarrojo cercano (PIR) y rojo (R), respectivamente:  $\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$  (Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979). La diferencia entre las bandas roja e infrarroja es un indicador robusto de la cantidad de biomasa verde fotosintéticamente activa (Tucker, 1979).

Una vez elaborado el NDVI se realizó una clasificación no supervisada de las imágenes resultantes para definir coberturas del suelo de acuerdo a su productividad. Paralelamente se realizó una clasificación no supervisada de la imagen satelital en falso color y se combinó con la de NDVI. A partir de las clases resultantes de la combinación de clasificaciones se realizó su interpretación de acuerdo a una leyenda predefinida compuesta por las siguientes categorías: pradera y humedal semipermanente, arena, agua y humedal permanente, otros tipos de bosque nativo, urbano e infraestructuras, forestación, y cultivo y pradera artificial. Estas categorías fueron definidas de acuerdo a la similitud en el uso de los ambientes por parte de las especies, así como la capacidad de los sensores de discriminar entre tipos de cobertura. El mapa de cobertura del suelo de la matriz fue el insumo para obtener los archivos de resistencia de cada especie para llevar a cabo los análisis de circuitos.

*d) Determinación del escenario de desarrollo*

Para la definición del escenario de desarrollo urbano-turístico-industrial, se realizó la revisión de normativa de ordenamiento territorial e iniciativas de desarrollo de infraestructuras costeras en el Sistema de Información Territorial del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (SIT-MVOTMA). De dicho sitio *web* se obtuvo el mapeo de la categorización del suelo definida en las directrices de ordenamiento territorial de los departamentos de Maldonado y Rocha. Las categorías de suelo de los instrumentos de ordenamiento territorial presentes en el área de estudio fueron agrupadas en clases considerando su vocación preponderante (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Agrupamiento en clases de las diversas categorías de suelo presentes en los instrumentos de ordenamiento territorial de los departamentos de Maldonado y Rocha, en el área de estudio.

<b>Clase</b>	<b>Categorías de suelo</b>
<b>Urbano - Industrial</b>	Urbano
	Urbano de uso estacional
	Urbano no consolidado
	Actividades productivas de bienes y servicios
	Suburbano de uso logístico
<b>Suburbano de uso residencial</b>	Suburbano
	Suburbano de uso estacional
	Suburbano de uso residencial
<b>Rural</b>	Rural
<b>Rural potencialmente transformable</b>	Rural potencialmente transformable
	Rural potencialmente transformable a actividades de bienes y servicios

<b>Rural natural</b>	Rural natural
	Rural natural potencialmente transformable
	Suburbano protegido
	Urbano de fragilidad ecosistémica
	Suburbano de fragilidad ecosistémica

A partir de cada clase se generaron capas raster en formato ASCII, que fueron utilizadas para la evaluación del escenario de desarrollo.

Todas las coberturas de información vectoriales producidas en el proceso de generación de los atributos del paisaje se transformaron a archivos raster formato ASCII de iguales dimensiones (con la extensión geográfica de la cuenca atlántica con su zona de influencia, y tamaño de celda de 100 \* 100 m), para realizar los análisis de conectividad mediante circuitos.

## 2) Atributos de las especies

La lista preliminar de EPC de vertebrados e invertebrados se obtuvo de la base de datos de especies asociada a los trabajos realizados por Soutullo y colaboradores (2010; 2013) y Brazeiro y colaboradores (2012) disponibles en la base de datos de especies *on-line* de MVOTMA-MGAP, en las que figuran las distribuciones a nivel de cartas topográficas 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar (SGM) y el uso como hábitat de los ecosistemas. En la búsqueda de especies para la elaboración de la lista preliminar se consideraron los siguientes criterios:

- especies prioritarias para la conservación en Uruguay de acuerdo a Soutullo y colaboradores (2013)
- presencia de las especies en alguna de las cartas topográficas del SGM de la zona costera atlántica<sup>1</sup> (asignados por Brazeiro y colaboradores (2012) y Soutullo y colaboradores (2013))
- uso de los ecosistemas matorral y/o bosque costero (asignados por Soutullo y colaboradores (2010) y Brazeiro y colaboradores (2012))

Las especies que cumplieron con los tres criterios se seleccionaron para conformar una lista preliminar de especies de cada grupo taxonómico. La lista así obtenida se revisó a través de consulta a opinión de expertos. Para ello se solicitó la participación en la consulta a un total de 17 expertos, de los cuales 16 aceptaron participar de la instancia de consulta, distribuidos

<sup>1</sup> Las cartas topográficas de la zona costera consideradas fueron: B23 (Chuy), B24 (Santa Teresa), B25 (Punta Palmar), C25 (Castillos), C26 (Aguas Dulces), C27 (Cabo Polonio), D27 (Rocha), D28 (La Paloma), E28 (Garzón), E29 (José Ignacio), F29 (San Carlos) y F30 (Punta del Este).

de la siguiente forma entre los grupos taxonómicos: 4 expertos de mamíferos, 4 de anfibios, 3 de reptiles, 5 de aves y 2 de moluscos (2 expertos participaron en la consulta de dos grupos, anfibios y reptiles) (**Anexo I.a**). El proceso de consulta se estructuró en dos etapas, una primera etapa en la que se definieron los requerimientos de hábitat de las especies y la capacidad de movimiento a través de la matriz, y una segunda etapa en la que se evaluó la distancia máxima de movimiento de las especies entre parches de hábitat de matorral y bosque costero.

*Definición de requerimientos de hábitat de las especies y probabilidad de movimiento a través de la matriz*

En la primera instancia de consulta (ver **Anexo I.b**) se solicitó que, para cada especie de la lista preliminar elaborada, se indicara:

1. el uso como hábitat principal o secundario de los parches de matorral y/o bosque costero, para complementar y ajustar la revisión previa de bases de datos.
2. la posibilidad de que otras especies no consideradas en la lista preliminar pudieran utilizar también el matorral y/o bosque costero en la costa atlántica.
3. la capacidad de movimiento de cada especie a través de siete grandes tipos de ambientes que constituyen la matriz del paisaje costero alrededor del matorral y bosque (pradera o humedal semipermanente, arena, humedal permanente o agua, otros tipos de bosque nativo, urbano o industrial, forestación, y cultivo y pradera artificial), para definir la resistencia del paisaje al movimiento o superficie de costo del paisaje. Para abordar dicha probabilidad de movimiento se le consultó cuál de las siguientes descripciones de categorías de hábitat se ajustan mejor a la relación entre la categoría de ambiente y la especie:
  - a. una barrera (la especie nunca utiliza dichos ambientes)
  - b. el ambiente es evitado, pero en casos extremos la especie lo utiliza
  - c. el ambiente constituye un hábitat ocasionalmente utilizado por la especie
  - d. el ambiente es un hábitat frecuentemente utilizado por la especie

Con el propósito de alcanzar consensos entre los expertos consultados de cada grupo taxonómico se utilizó el Método Delphi. Éste busca alcanzar consensos a partir de las respuestas individuales de los expertos involucrados a través de ciclos de consulta (Linstone y

Turoff, 1975). En tal sentido, recibidas las respuestas a la primera consulta se realizó un segundo ciclo de consulta, personalizado a cada experto, en el que se le plantearon las respuestas dadas por cada uno de los expertos (anónimos). En este segundo ciclo se le planteó la posibilidad a cada experto de revisar sus respuestas a la luz de las respuestas de sus pares (ver **Anexo I.c**).

Para las especies en las que no se alcanzó un consenso entre los distintos expertos consultados se consideró la respuesta de la mayoría. En los casos en que no se contaba con una mayoría sino con situaciones de “empate” se consideró la opción más inclusiva, es decir la que implicaba el uso del matorral y/o bosque como hábitat para la especie. En tal sentido, las especies bajo dicha situación se incluyeron a modo de evaluar la conectividad.

En los casos de empate en la asignación de uso primario – secundario del matorral y/o bosque, se recurrió a la información de asignación de uso de hábitat de la base de datos de especies MVOTMA-MGAP. A partir de dicha consulta se definió el uso primario cuando existía consenso entre los trabajos de asignación de uso de hábitat de matorral y bosque contenidos en la base de datos (Soutullo *et al.*, 2010; Brazeiro *et al.*, 2012), y se definió el uso secundario cuando uno sólo de los trabajos realizaban dicha asignación.

Para la integración de los datos de uso de ambientes de la matriz, en aquellos casos en los que no se alcanzó un consenso entre los distintos expertos consultados se consideró la mediana de las respuestas. En casos de “empate” (valores con decimales), se consideró la categoría más restrictiva en la relación ambiente - especie, aplicando el criterio de precaución.

Luego de integrados los datos de la segunda ronda de la primer consulta se obtuvo la lista final de especies objeto de estudio, las EPC de vertebrados e invertebrados terrestres cuyo hábitat lo constituyen el matorral y bosque costero (primario o secundario), así como el uso de la matriz.

#### *Definición de distancia máxima de movimiento*

En lo que refiere a las distancias máximas de movimiento entre parches de hábitat de las especies, en general existe escasa información disponible al respecto (Minor y Urban, 2007). En tal sentido, se plantearon situaciones teóricas de amplios rangos de máximo movimiento. La lista final de especies de cada grupo taxonómico se sometió a una segunda consulta a los mismos expertos en la que se le solicitó datos de distancia máxima de movimiento de cada

especie entre parches de hábitat (**Anexo I.d**). Para ello se generaron rangos de máximo movimiento entre parches de hábitat a través de ambientes favorables, pero no preferidos por las especies. Los mismos se definieron considerando la distancia máxima entre parches vecinos y el espectro de tamaños corporales de las especies contempladas, de forma de generar diferencias entre rangos que permitieran a los expertos la asignación de uno de ellos a cada especie. Los rangos definidos fueron los siguientes (se señala la correspondencia entre el rango de distancia y el *home range*):

- 0 a 100 metros: equivale a un home range de entre 0 y 0,03 km<sup>2</sup>
- 100 a 500 metros: equivale a un home range de 0,03 a 0,78 km<sup>2</sup>
- 500 a 1.000 metros: equivale a un home range de 0,78 a 3,14 km<sup>2</sup>
- 1.000 a 5.000 metros: equivale a un home range de 3,14 a 78,54 km<sup>2</sup>
- 5.000 a 20.000 metros: equivale a un home range de 78,54 a 1257 km<sup>2</sup>
- Más de 20.000 metros: equivale a un home range superior a 1257 km<sup>2</sup>

Para la integración de los datos de distancia máxima de movimiento entre parches de hábitat, en aquellos casos en los que no se alcanzó un consenso entre los distintos expertos consultados se consideró la mediana de las respuestas.

Los resultados de cada consulta fueron enviados a cada uno de los expertos que participaron de la consulta. Los comentarios a los resultados realizados por los expertos fueron utilizados para el ajuste final de los mismos.

### Análisis de datos

Obtenidos los datos de atributos de paisaje y especies, los análisis de datos se dividieron en dos etapas: 1) identificación de EPC de vertebrados y moluscos terrestres más vulnerables a la configuración actual del paisaje e identificación de los sitios de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad actual del paisaje, y 2) Identificación de sitios de relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario de desarrollo. A continuación se detallan las actividades vinculadas a cada una de las etapas.

1) *Identificación de EPC más vulnerables a la configuración actual del paisaje e identificación de sitios de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad actual del paisaje.*

Para realizar estos análisis se llevaron a cabo análisis de conectividad utilizando de forma combinada teoría de grafos espaciales y teoría de circuitos.

#### *Análisis de grafos espaciales*

Para llevar a cabo los análisis de grafos espaciales se definieron 18 grupos de especies de acuerdo a la combinación de categorías de las variables:

- Uso de hábitat, considerando tres categorías: matorral, bosque, o matorral y bosque.
- Distancia máxima de movimiento, considerando las seis grandes categorías de rangos de distancia: 0 a 100 m, 100 a 500 m, 500 a 1000 m, 1000 a 5000 m 5000 a 20000 m y más de 20000 m.

A partir de los resultados alcanzados en la consulta a expertos y la revisión bibliográfica de dispersión y uso de hábitat de las especies, cada especie fue asignada a uno de los grupos teóricos conformados por la combinación de las dos variables.

Luego de definidos los grupos se realizaron los análisis de conectividad para cada uno de ellos, considerando los archivos de nodos y de conectividad específicos a cada caso de acuerdo a las categorías de las variables uso de hábitat y distancia máxima de movimiento que definen al grupo, obtenidos mediante la extensión Conefor Input para ArcGIS 10. Los análisis de conectividad de esta etapa se realizaron mediante el uso del *software* Conefor 2.6 (Saura y Torné, 2009), a través del cálculo del índice Probabilidad de Conectividad (PC) (Saura y Pascual-Horta, 2007). Este índice se basa en grafos espaciales y en los conceptos de disponibilidad de hábitat y probabilidad de dispersión entre parches. El PC considera a cada parche de hábitat en sí mismo como un espacio donde puede ocurrir la conectividad. Integra la conectividad interparche e intraparche, considerando a su vez la utilización de otros parches de hábitat como recurso (Saura y Pascual-Horta, 2007). El PC se calcula:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot p_{ij}^*}{A_L^2}$$

**Ecuación 1**

Donde  $n$  es el número de nodos,  $a_i$  es el atributo del nodo  $i$ ,  $a_j$  son los atributos del nodo  $j$ ,  $p_{ij}^*$  corresponde al máximo producto de probabilidad de todos los caminos entre  $i$  y  $j$ , y  $A_L$  el atributo máximo del paisaje. Como atributo de los nodos se utilizó el producto de la superficie y la calidad de los parches (Minor y Urban, 2007). Como atributo máximo del paisaje se consideró la superficie de la cuenca, que corresponde al valor del atributo de un parche que cubre todo el paisaje y tiene la mejor calidad. El índice PC fue calculado para cada grupo teórico. Los grupos con valores inferiores de PC en relación al resto, indican que el paisaje se encuentra menos conectado.

La evaluación de la importancia de los parches de hábitat se realizó a través de análisis de remoción de nodos basados en métricas de redes (Bodin y Saura, 2010). En éstos se calcula la conectividad del paisaje iterativamente antes y después de extraer cada nodo (Keitt *et al.*, 1997). El cálculo de importancia se realizó utilizando la función:

$$dPC() = 100 \cdot \frac{PC - PC'}{PC} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,  $PC$  es el índice global (con todos los nodos) y  $PC'$  corresponde al índice luego de extraer un nodo. Los nodos con valores superiores de  $dPC$  indican mayor importancia para mantener la conectividad actual del paisaje en cada grupo teórico.

Para cada grupo teórico analizado se definió el número de componentes (NC) del grafo (subgrafos). Cada componente está compuesto por un subconjunto de nodos que presentan links entre sí y no se encuentran conectados a otros subconjuntos de nodos (Urban y Keitt, 2001). A mayor cantidad de componentes, menor conectividad del paisaje.

Los grupos teóricos de especies con menores valores de conectividad global (PC) y mayor cantidad de componentes (NC) son considerados los más vulnerables a la configuración actual del paisaje, permitiendo identificar las especies más sensibles a la misma. Asimismo, los resultados alcanzados en los análisis de remoción de nodos de cada grupo teórico de especies, permitieron identificar los nodos críticos para las EPC más vulnerables a la configuración actual del paisaje.

Los valores de importancia de cada nodo,  $dPC$ , obtenidos a través de los análisis de cada grupo de especies se integraron a través de un Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP busca condensar o resumir la información contenida en una serie de variables originales

en un número menor de dimensiones compuestas o valores teóricos (factores) nuevos, con una mínima pérdida de información (Hair *et al.*, 1999), capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos. El ACP se realizó con la función “princomp()” de la librería “Stats” del *software* estadístico R, utilizando la matriz estandarizada con los valores de dPC de los grupos que utilizan matorral y bosque. El análisis de componentes principales permitió reducir las dimensiones e identificar los nodos que realizan una mayor contribución a la conectividad del paisaje para el conjunto de las especies evaluadas. Los valores de aporte de cada nodo (“scores”) al primer componente principal fueron mapeados mediante el SIG.

Para identificar la distancia umbral que permite conectar todos los parches de matorral y bosque y así obtener una referencia de comparación con los movimientos de las especies analizadas, se definió la red de percolación (Rozenfeld *et al.*, 2008) mediante el uso del *software* estadístico R<sup>2</sup>. Esta distancia define el umbral por debajo del cual la red se fragmenta en componentes aislados.

#### *Análisis de circuitos*

La evaluación de la conectividad entre nodos de matorral y bosque costero a través de las distintas coberturas de la matriz del paisaje se realizó mediante el uso del *software* Circuitscape versión 4.0.3 (McRae *et al.*, 2008). Circuitscape fue desarrollado para aplicar teoría de circuitos a problemas de ecología de paisaje que requieren operaciones con grafos extensos. Éste explora conexiones entre nodos a través de teoría de random walk y teoría de circuitos eléctricos. El algoritmo básico de Circuitscape sigue la Ley de Ohm:  $I=V/R$ . Donde I cuantifica la corriente o flujo génico total, V es la magnitud o fuerza del flujo (cuan cerca a una fuente/sumidero), y R es la resistencia al flujo que presenta el paisaje. El análisis está basado en el marco de la teoría de grafos donde cada celda en el raster es un nodo y se conecta con sus 4 celdas vecinas de primer orden o las 8 celdas vecinas de primer y segundo orden (McRae *et al.*, 2008). Las uniones simbolizan el análisis de diferencia entre la celda y sus vecinas. El programa calcula las resistencias entre pares de nodos focales y crea mapas de flujo de corriente entre todos los pares de nodos. Los pesos de los links en el grafo son función de los valores de conductancia por celda, la resistencia promedio de las dos celdas conectadas (el link se define por el promedio de resistencia de las dos celdas adyacentes). De esta forma la grilla del raster se comporta como redes eléctricas, donde cada celda se

---

<sup>2</sup> Se utilizó el script desarrollado por Borthagaray A. proporcionado en el curso de PEECIBA “Herramientas de teoría de grafos para el análisis de paisajes y sistemas ecológicos” (2013).

transforma en un nodo que se conecta con sus nodos vecinos a través de resistores (McRae *et al.*, 2013).

Los resultados de circuitos que arrojan más caminos alternativos, indican más opciones de movimientos y conexiones entre nodos focales más robustas. Los flujos de corriente a través del paisaje pueden ser utilizados para identificar áreas importantes para la conectividad, especialmente “pinch-points”. Los pinch-points son sitios del paisaje donde existe un alto flujo de movimiento y por tanto donde se generan cuellos de botella en el flujo a través del paisaje (McRae y Shah, 2009). Estos sitios resultan en uniones vulnerables porque la pérdida de una pequeña cantidad de hábitat puede afectar completamente el link entre nodos focales (Shah y McRae, 2008). Este incremento en el flujo de dispersión de individuos puede ser utilizado como métrica de priorización para definir acciones de planificación de la conservación (Rose, 2013).

La información requerida para realizar los análisis de circuitos es:

- Raster del mapa de hábitat que especifica la resistencia de cada celda que compone el paisaje. Estos valores son proporcionales a la probabilidad relativa de movimiento de los individuos a través de cada tipo de hábitat (Shah y McRae, 2008), y se determinan arbitrariamente durante la producción del modelo de la idoneidad del hábitat (McRae y Shah, 2009).
- Raster del mapa de nodos focales que especifica las zonas entre las que la conectividad va a ser modelada.

El mapeo de la resistencia del paisaje al movimiento de las especies se realizó a partir de las clases de cobertura del suelo definidas a través del procesamiento de las imágenes satelitales. En tal sentido, se elaboró un mapa de resistencia para cada una de las especies, que utilizan el matorral y/o bosque costero como hábitat primario, en el que a cada tipo de cobertura de la matriz se les asignó un valor de resistencia del paisaje al movimiento de acuerdo a las categorías de coste resultantes de la consulta a expertos. Para asignarle valores cuantitativos a las categorías se consideró a la resistencia al movimiento con una distribución exponencial, de modo de contemplar las diferencias de posibilidades de movimiento entre categorías. Para definir el valor de cada categoría en la distribución exponencial se generó una distribución exponencial de 0 a 100 a partir de 10.000 aleatorizaciones mediante el uso del *software* estadístico R y se definió el valor de cada una de las categorías a partir de la posición de los

cuartiles. Los valores extremos fueron ajustados de acuerdo a las características de funcionamiento de Circuitscape (Shah y McRae, 2008). En tal sentido se asignaron los siguientes valores de resistencia: 1 a los ambientes de mayor intensidad de uso, 4 a los ambientes con intensidad de uso frecuente, 11 a los ambientes de uso ocasional, y -9999 (“no dato”) a las barreras al movimiento. A los parches de matorral y bosque se le asignó un valor de resistencia 1, en el caso de hábitat principal y de resistencia 4 en el caso de hábitat secundario.

El análisis de circuitos fue realizado para el subconjunto de especies que utilizan el matorral y bosque costero como hábitat primario. Se utilizó el modo “all to one” (todos a uno), donde un nodo focal (parches de matorral y bosque costero) se conecta a tierra y todos los demás nodos se conectan a fuentes de corriente de 1-ampere, los que generan flujos de corriente hacia el nodo que actúa como tierra. Estos flujos de corriente simulan el movimiento de individuos desde los n-1 nodos que actúan como fuente hacia el nodo que actúa como tierra. El proceso se repite para todos los nodos focales, de forma que el número de cálculos que se realizan es igual al número de nodos focales. Este método es utilizado para grafos muy grandes ya que insume menos tiempo que otros modos (McRae *et al.*, 2013), como ser el “pairwise”, que realiza los cálculos de a pares de nodos y el número de cálculos que realiza es  $n(n-1)/2$ , siendo n el número de nodos focales. Se utilizó las conexiones de los nodos a los 8 nodos vecinos, de primer y segundo orden.

A partir de los mapas de flujo de corriente acumulada de cada especie se determinó la proporción del paisaje que las mismas son capaces de utilizar para realizar sus movimientos entre pares de nodos focales. Una menor proporción del paisaje recorrido indica especies más vulnerables a la configuración del paisaje. El caso extremo estará asociado a las especies que no pueden realizar movimientos a través de la matriz para desplazarse entre nodos focales, ya que implican poblaciones aisladas.

Los mapas de flujo de corriente acumulada de todas las especies fueron transformados a un rango de 0 a 1, dividiendo el valor de cada píxel por el valor más alto de todos los píxeles. Los mapas resultantes se sumaron de forma de obtener en cada píxel el valor de la suma de la corriente de todas las especies. Este resultado permitió identificar las zonas de concentración de flujo o “pinch-points”, para definir las zonas del paisaje de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad actual del paisaje entre nodos focales.

## *2) Identificación de sitios de relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario de desarrollo basado en los instrumentos de ordenamiento territorial*

Para identificar las zonas del paisaje de mayor relevancia para el conjunto de las especies se realizó un proceso de priorización del paisaje mediante el uso del *software* de planificación espacial Zonation GUI v 4.0 (Moilanen *et al.*, 2014). Zonation produce una jerarquía anidada de las prioridades de conservación a través de un proceso que inicia con el paisaje completo y de forma iterativa remueve las celdas o unidades de planificación que contribuyen menos al mantenimiento de la biodiversidad. El orden en el que se remueven las celdas refleja el orden de importancia de las celdas para fines de conservación, siendo las celdas más importantes las que se mantienen hasta el final (valor  $\sim 1$ ) (Moilanen *et al.*, 2011). Zonation permite definir prioridades espaciales de conservación a la vez que considera usos del suelo alternativos que compiten por el mismo territorio, reduciendo la interferencia entre los mismos (Moilanen *et al.*, 2011). Los elementos de la biodiversidad que se quieren conservar son retenidos en la fracción superior del ranking de prioridad mientras que las áreas favorables para usos alternativos reciben una baja prioridad en el ranking. En el proceso de priorización, los usos del suelo alternativos reciben un peso negativo, diferenciándolos de los elementos de la biodiversidad que se quieren conservar, a los que se les asigna un peso positivo. De esta forma las áreas que contienen elementos con peso negativo son removidas tempranamente en la priorización (valor  $\sim 0$ ) mientras que las áreas que presentan los elementos que se quieren conservar son retenidas como la fracción de mayor importancia del paisaje (valor  $\sim 1$ ). En tal sentido estos análisis identifican el arreglo de sitios que permiten el mantenimiento de la biodiversidad en escenarios de desarrollo potenciales.

El análisis de priorización del territorio se realizó en dos etapas: una primera etapa de situación actual, sin considerar transformaciones de coberturas del suelo, en la que se integró la información de distribución de flujo de todas las especies y una segunda etapa en la que se modeló las prioridades en el escenario de desarrollo incorporando coberturas potenciales del suelo de acuerdo a los instrumentos de ordenamiento territorial.

### *Priorización en la situación actual*

El análisis de priorización de la situación actual se realizó con el fin de identificar los sitios de mayor prioridad para mantener la conectividad del conjunto de las especies, bajo la situación actual de la configuración del paisaje, con el fin de evaluar posteriormente el cambio de

prioridades en el escenario de desarrollo. Para ello se integró el conjunto de mapas de corriente acumulada de cada especie que utiliza el matorral y/o bosque como hábitat primario, reescalados al rango de 0 a 1. Todas las especies se consideraron con igual peso. Asimismo, se incluyó el mapa de localización de los parches de matorral y bosque costero como regla de remoción jerárquica, lo que fuerza al proceso de priorización a mantener dichas zonas del paisaje hasta el final. La regla de remoción de celdas utilizada fue la Función de Beneficio Aditivo (Moilanen, 2007), ABF por sus siglas en inglés (Additive Benefit Function), la que toma en consideración el número de los elementos presentes en las celdas (intensidad de corriente de cada especie) y busca minimizar las tasas de pérdida de flujo de corriente del conjunto de las especies, eliminando las celdas con menor intensidad de flujo para el conjunto de las especies. El valor de importancia de cada celda se calcula mediante la suma de la pérdida de valor de todos los elementos que contiene, al remover la celda del paisaje (Moilanen *et al.*, 2011).

#### *Priorización en el escenario de desarrollo*

La priorización en el escenario de desarrollo incluyó los mapas de corriente acumulada de todas las especies junto con los usos del territorio en el escenario de desarrollo, de forma de identificar los sitios más adecuados para los distintos usos del suelo, procurando disminuir la interferencia entre los mismos. De esta forma se identificaron las zonas que en un escenario de cambios del territorio permiten mantener la conectividad del paisaje para las distintas especies. Así los sitios en los que exista una mayor prioridad para la biodiversidad serán también los más viables para la implementación de medidas que aseguren su persistencia, dado que la incidencia de conflictos con otros usos es menor.

Para los análisis de priorización se consideraron los mapas de corriente acumulada actual del paisaje de las especies que utilizan el matorral y bosque como hábitat primario, transformados al rango de 0 a 1, y las coberturas de categorización del suelo de los instrumentos de ordenamiento territorial, detalladas en la **Tabla 1**. Todas las especies y las categorías de suelo fueron consideradas con igual peso entre sí, 1 y -1 respectivamente. Se utilizó la regla de remoción ABF.

La identificación de las zonas en las que la conectividad entre nodos focales se puede ver más afectada ante el escenario de desarrollo se realizó obteniendo las diferencias en los valores de prioridad de cada píxel entre los mapas de priorización actual y del escenario de desarrollo.

Para obtener una medida cuantitativa del valor de prioridad de la priorización actual y su modificación en el escenario de desarrollo dentro de cada clase de categoría de ordenamiento territorial, se realizó el geoprocesamiento de la cobertura de las categorías de ordenamiento territorial y los dos mapas de priorización. Esto permitió obtener el valor promedio de prioridad dentro de cada clase de ordenamiento territorial.

Asimismo, a través del uso del SIG se realizó el geoprocesamiento de la cobertura del conjunto de parches de matorral y bosque con las coberturas de categorías de ordenamiento territorial. Esta superposición permitió identificar con qué categorías de suelo se superponen los parches de mayor relevancia para mantener la conectividad del paisaje.

## Resultados

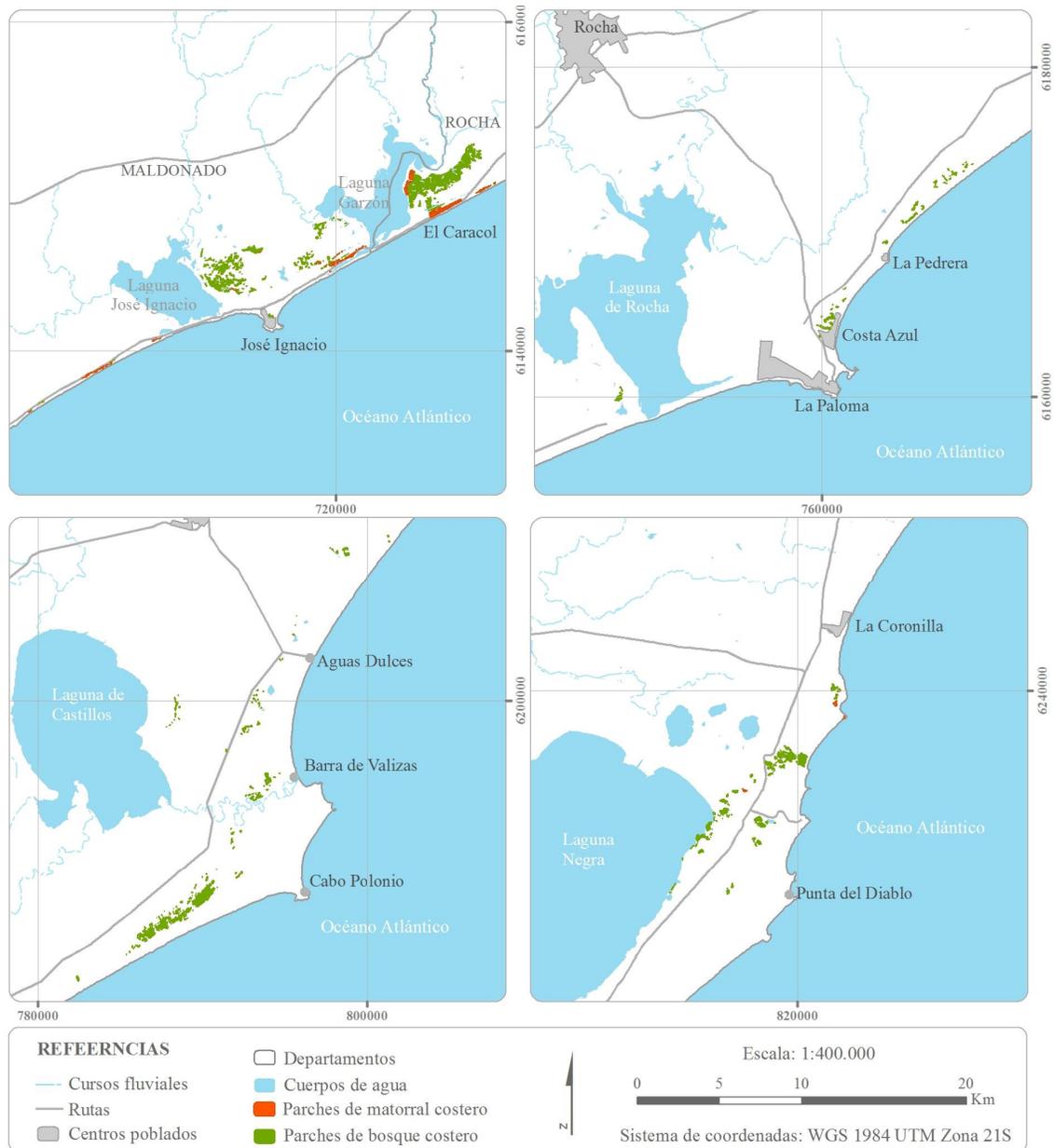
### Atributos del paisaje

Los parches de matorral y bosque costero se concentran en cuatro sectores de la costa de la cuenca atlántica: 1) Manantiales – El Caracol, 2) La Paloma – Punta Rubia, 3) Cabo Polonio – Aguas Dulces y 4) Santa Teresa – Cerro Verde (**Fig. 3**).

A lo largo del área de estudio se identificaron 1908 parches, 1379 de los cuales corresponden a bosque costero y 529 a matorral costero, que ocupan un total de 928 hectáreas (0,13% de la superficie del área de estudio) (**Tabla 2**). De esta superficie el 91 % corresponde al bosque, el que se compone mayoritariamente de parches de calidad media, seguidos por parches de calidad alta. El matorral, es muy inferior en extensión, y presenta menores diferencias entre las clases de calidad, siendo los parches de baja y alta calidad los que ocupan mayor superficie.

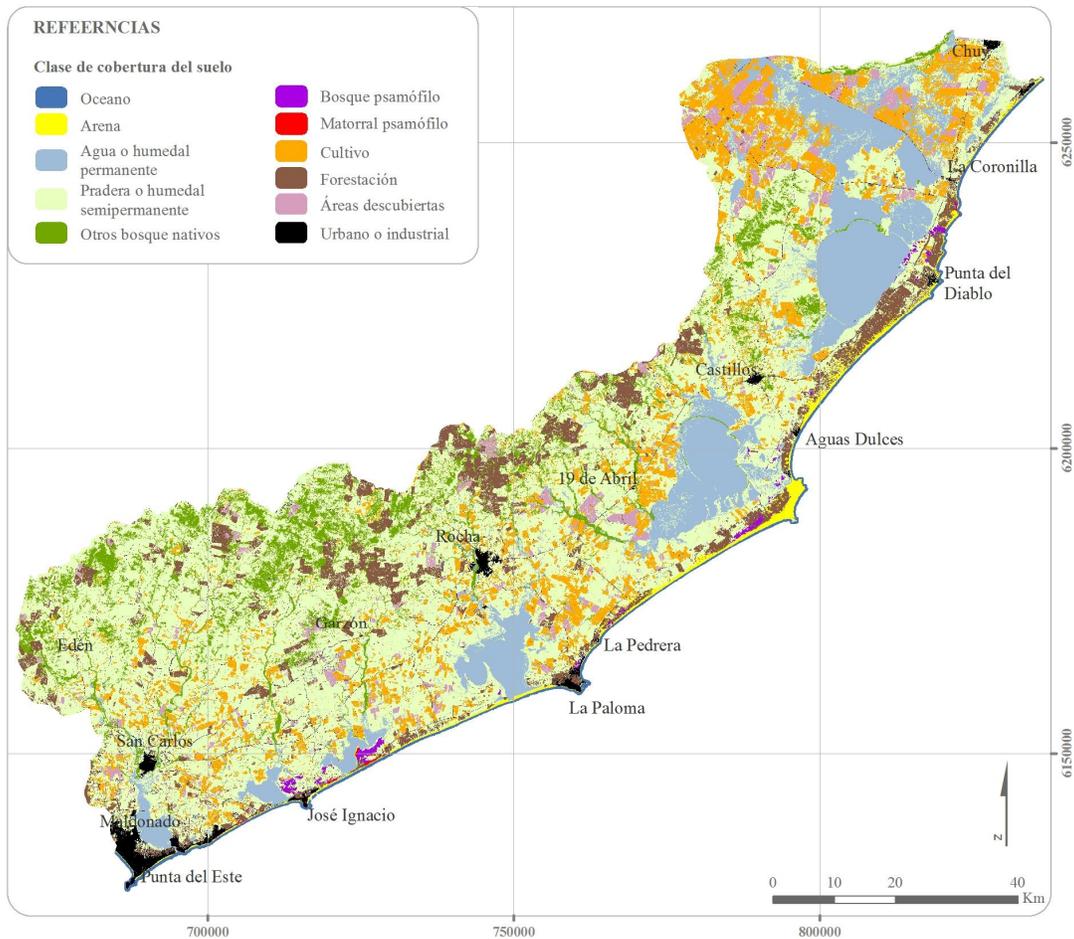
**Tabla 2.** Número de parches y estadísticas de superficie de parches por comunidad vegetal.

Comunidad	Número de parches	Superficie de parches (en hectáreas)						Parches totales
		mínima	media	máxima	parches calidad baja	parches calidad media	parches calidad alta	
<b>Matorral</b>	529	0,0006	0,15	9	31	19	30	<b>80</b>
<b>Bosque</b>	1379	0,001	0,61	38,3	108	515	224	<b>848</b>
<b>Total</b>	1908	0,0006	0,49	38,3	139	534	254	<b>928</b>



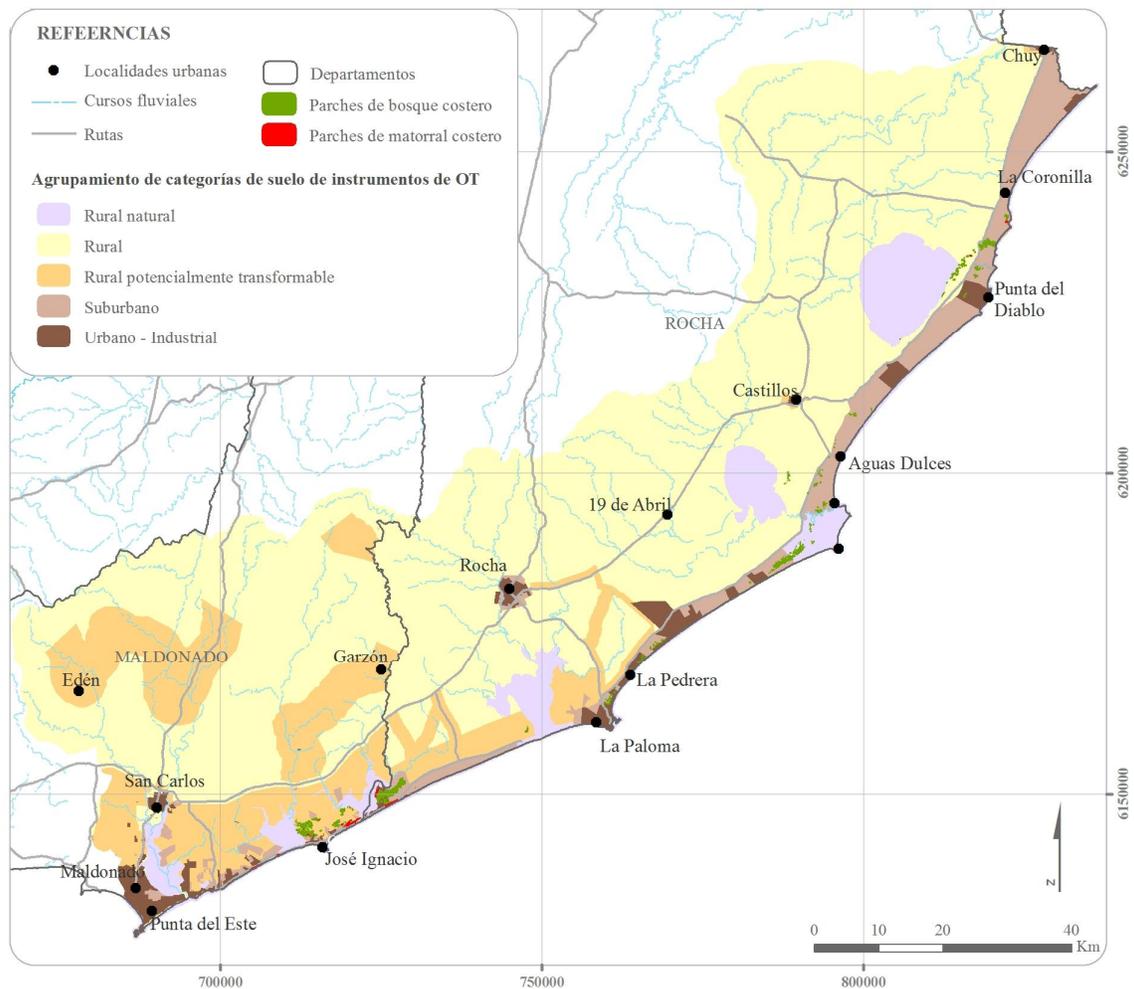
**Figura 3.** Distribución de los nodos de matorral y bosque costero en los cuatro sectores de la costa de la cuenca atlántica en la que se localizan el conjunto de los parches.

La matriz del paisaje costero está ocupada en un 50% por pastizales y humedales semipermanentes. La categoría de cobertura que le sigue en superficie es el humedal permanente y agua con un 14,5% seguido de los cultivos y praderas artificiales con un 12,6% (**Fig. 4, Anexo II**).



**Figura 4.** Distribución de las clases de coberturas del suelo de la cuenca atlántica.

Los parches de matorral y bosque costero se distribuyen en las distintas categorías de ordenamiento territorial, encontrándose la mayor proporción en suelo suburbano (49,9%) seguido por el suelo urbano – industrial (18,8%) (**Tabla 3, Fig. 5**). Estas categorías de suelo implican modificaciones en el territorio que generan presiones directas o indirectas sobre los parches de matorral y bosque, de mayor magnitud a otras categorías del suelo, afectando su calidad y/o extensión (Ríos *et al.*, 2011). En este sentido aproximadamente el 70% de la superficie de matorral y bosque presenta una alta vulnerabilidad a los cambios previstos en el uso del suelo en el escenario de desarrollo (**Tabla 3**).



**Figura 5.** Distribución de las categorías de ordenamiento territorial y los parches de matorral y bosque costero.

**Tabla 3.** Superficie y porcentaje de superficie de las categorías de ordenamiento territorial (OT). Se indica el porcentaje de superficie del matorral y bosque psamófilo que se encuentran en cada categoría de OT.

Categoría de ordenamiento territorial (OT)	Superficie (has)	% de superficie			
		Categoría de OT	Bosque	Matorral	Matorral y Bosque
Rural	545992	70,1	7,0	7,3	7,0
Rural natural	56352	7,2	11,8	4,2	11,1
Rural potencialmente transformable	114958	14,8	14,2	2,2	13,2
Suburbano	41074	5,3	50,7	40,3	49,9
Urbano - Industrial	20131	2,6	16,3	46,0	18,8

### Atributos de las especies

La revisión de bases de datos y bibliografía, combinada con la consulta a especialistas permitió identificar un total de 57 especies de vertebrados (anfibios, aves, reptiles y mamíferos) e invertebrados (moluscos) terrestres prioritarios para la conservación que utilizan al matorral y/o bosque costero atlántico como hábitat (22,1% del total de vertebrados e invertebrados terrestres prioritarios) (**Tabla 4, Anexo III**). De este conjunto, 23 especies presentan al matorral y/o bosque costero como principal hábitat (**Tabla 5**). De éstas, un total de 15 especies utilizan tanto los parches de matorral como los de bosque como ecosistemas primarios, mientras que 6 especies sólo utilizan el bosque y 2 sólo el matorral (**Tabla 5**). Entre estas especies existen tanto especies que presentan algún grado de amenaza nacional o internacional (6 especies) y/o especies que son objetos de conservación del SNAP (5 especies), como especies que son prioritarias porque presentan valor por su potencial uso sustentable (16 especies), según Soutullo y colaboradores (2013) (**Tabla 5**).

**Tabla 4.** Número de especies prioritarias para la conservación (EPC) que utilizan el matorral y/o bosque costero atlántico como hábitat por grupo taxonómico, en relación al número total de EPC.

Grupo	Nº de Especies prioritarias terrestres (EPC)	Nº de EPC terrestres de la costa atlántica	Nº de EPC de la costa atlántica que utilizan el matorral y bosque costero		Nº de EPC para las cuales el matorral y/o bosque costero es su principal hábitat
			lista preliminar	lista final	
Moluscos	24	4	4	4	4
Anfibios	21	12	5	5	0
Reptiles	37	17	8	8	2
Mamíferos	53	27	13	13	3
Aves	123	69	34	27	14
<b>Totales</b>	<b>258</b>	<b>129</b>	<b>64</b>	<b>57</b>	<b>23</b>

Las 23 especies objeto de estudio pertenecen sólo a ocho de los 18 grupos posibles de especies, resultantes de la combinación de categorías de las variables: 1) uso de hábitat y 2) distancia máxima de movimiento (**Tabla 6**). El conjunto de las 23 especies recorre distancias inferiores a 5 km entre parches de hábitat a través de ambientes favorables (**Tabla 6**).

**Tabla 5.** Lista de especies prioritarias para la conservación que utilizan el matorral y/o bosque costero como hábitat primario. Se indica el criterio por el cual la especie fue considerada prioritaria: está amenazada a nivel nacional o mundial (“Amenazada”), es un objeto de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (“SNAP”) y/o es de interés por su potencial uso sustentable (“Uso Sustentable”) según Soutullo y colaboradores (2013).

Especie por grupo	Uso de hábitat			Criterio de prioridad		
	Matorral	Bosque	Matorral y Bosque	Amenazada	SNAP	Uso sustentable
<b>Moluscos</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
<i>Bulimulus corderoi</i> (caracol terrestre)	X			X	X	
<i>Bulimulus gorritiensis</i> (caracol terrestre)	X			X	X	
<i>Drymaeus papyraceus papyrifactus</i> (caracol terrestre)			X	X	X	
<i>Austroborus lutescens</i> (caracol terrestre)			X	X	X	
<b>Reptiles</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Anisolepis undulatus</i> (Lagartija arborícola)		X		X	X	
<i>Salvator merianae</i> (Lagarto)			X			X
<b>Mamíferos</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<i>Leopardus geoffroyi</i> (gato montés)			X			X
<i>Cerdocyon thous</i> (zorro perro)			X			X
<i>Dasypus novemcinctus</i> (tatú)			X	X		
<b>Aves</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>
<i>Turdus amaurochalinus</i> (sabiá)			X			X
<i>Turdus rufiventris</i> (zorzal común)			X			X
<i>Gnorimopsar chopi</i> (Mirlo Charrua)		X				
<i>Melanerpes candidus</i> (carpintero blanco)		X				X
<i>Cyanoloxia glaucoerulea</i> (azulito)		X				X
<i>Piranga flava</i> (Fueguero)		X				X
<i>Poospiza nigrofura</i> (Sietevestidos)			X			X
<i>Saltator aurantiirostris</i> (Rey del Bosque Común)		X				X
<i>Poospiza lateralis</i> (monterita rabadilla roja)			X			X
<i>Poospiza melanoleuca</i>			X			X

(monterita cabeza negra)						
<i>Stephanophorus diadematus</i> (Cardenal Azul)			X			X
<i>Tangara preciosa</i> (Achará)			X			X
<i>Thraupis bonariensis</i> (naranjero)			X			X
<i>Thraupis sayaca</i> (celestón)			X			X
<b>Totales</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>16</b>

**Tabla 6.** Grupos teóricos de especies resultantes de la combinación de las variables uso de hábitat y distancia máxima de movimiento y especies asignadas a cada grupo. Los grupos con “S/spp” indican que ninguna especie fue asignada al grupo.

Distancia máxima de movimiento	Uso de hábitat		
	Matorral	Bosque	Matorral y Bosque
<b>0 a 100 m</b>	<b>Gr. 1 – 2 especies:</b> <i>B. corderoi</i> , <i>B. gorritiensis</i>	Gr. 7 - S/spp	<b>Gr. 13 – 2 especies:</b> <i>D. papyraceus papyrifactus</i> , <i>A. lutescens</i>
<b>100 a 500 m</b>	Gr. 2 - S/spp	<b>Gr. 8 – 1 especie:</b> <i>A. undulatus</i>	<b>Gr. 14 – 1 especie:</b> <i>D. novemcinctus</i>
<b>500 a 1000 m</b>	Gr. 3 - S/spp	<b>Gr. 9 – 4 especies:</b> <i>G. chopi</i> , <i>C. glaucocaeerulea</i> , <i>P. flava</i> , <i>S. aurantiirostris</i>	<b>Gr. 15 – 12 especies:</b> <i>L. geoffroyi</i> , <i>C. thous</i> , <i>T. amaurochalinus</i> , <i>T. rufiventris</i> , <i>P. nigrofura</i> , <i>P. lateralis</i> , <i>P. melanoleuca</i> , <i>S. diadematus</i> , <i>T. preciosa</i> , <i>T. bonariensis</i> , <i>T. sayaca</i>
<b>1000 a 5000 m</b>	Gr. 4 - S/spp	<b>Gr. 10 – 1 especie:</b> <i>M. candidus</i>	<b>Gr. 16 – 1 especie:</b> <i>S. merianae</i>
<b>5000 a 20000 m</b>	Gr. 5 - S/spp	Gr. 11 - S/spp	Gr. 17 - S/spp
<b>20000 a 50000m</b>	Gr. 6 - S/spp	Gr. 12 - S/spp	Gr. 18 - S/spp

La **Tabla 7** detalla para cada especie el porcentaje de superficie de la cuenca atlántica que está ocupada por las categorías de intensidad de uso de ambientes, según si son: barreras, evitados, usados ocasionalmente, usados frecuentemente. La especie que presenta una mayor proporción del paisaje como barrera es *D. papyraceus papyrifactus* (92%). La especie que utiliza una mayor proporción del paisaje de forma frecuente es *S. merianae* (74%). La asignación de la intensidad de uso de cada clase de cobertura del suelo por las especies se presenta en el **Anexo IV**.

**Tabla 7.** Porcentaje del territorio por intensidad de uso para las especies que utilizan el matorral y/o bosque costero como hábitat primario. El porcentaje del territorio constituye la suma de los porcentajes de superficie de los ambientes indicados en la tabla 3. La intensidad de uso refiere a los ambientes que: 1- son una barrera para la especie, 2- son evitados pero pueden ser utilizados en casos extremos, 3- son utilizados ocasionalmente, y 4- son utilizados frecuentemente por la especie.

Grupo taxonómico	Especie (nombre científico)	% de superficie ocupado por ambientes que son barreras	% de superficie ocupado por ambientes que son evitados	% de superficie ocupado por ambientes de uso ocasional	% de superficie ocupado por ambientes de uso frecuente
<b>Reptiles</b>	<i>A. undulatus</i>	33,16	8,86	50,02	7,96
	<i>S. merianae</i>	1,14	0	24,84	74,02
<b>Mamíferos</b>	<i>C.thous</i>	2,83	15,61	65,88	15,68
	<i>L. geoffroyi</i>	2,83	89,2	0	7,97
	<i>D. novemcinctus</i>	2,83	31,47	50,02	15,68
<b>Aves</b>	<i>T. amaurochalinus</i>	16,75	15,86	59,42	7,97
	<i>T. rufiventris</i>	16,75	15,86	59,42	7,97
	<i>G. chopi</i>	32,61	9,41	50,02	7,96
	<i>M. candidus</i>	32,61	51,72	15,55	0,12
	<i>C. glaucocaerulea</i>	18,44	73,6	0	7,96
	<i>P. flava</i>	2,28	39,74	50,02	7,96
	<i>P. nigrofura</i>	2,28	25,26	72,33	0,13
	<i>S. aurantirostris</i>	2,28	39,74	50,02	7,96
	<i>P. lateralis</i>	2,28	39,73	50,02	7,97
	<i>P. melanoleuca</i>	2,28	39,73	50,02	7,97
	<i>S. diadematus</i>	18,14	23,87	50,02	7,97
	<i>T. preciosa</i>	18,14	23,87	50,02	7,97
	<i>T. bonariensis</i>	2,28	38,04	51,71	7,97
	<i>T. sayaca</i>	18,14	23,87	50,02	7,97
<b>Moluscos</b>	<i>B. corderoi</i>	48,71	50,14	0	1,15
	<i>B. gorritiensis</i>	48,71	50,14	0	1,15
	<i>D. papyraceus papyrifactus</i>	92,03	0	0,01	7,96
	<i>A. lutescens</i>	40,87	50,02	7,96	1,15

#### Especies más sensibles a la fragmentación y pérdida de hábitat

##### *Análisis de grafos espaciales*

Los análisis realizados mediante teoría de grafos dan como resultado que la totalidad de las especies prioritarias que utilizan el matorral y/o bosque costero atlántico como hábitat primario perciben el paisaje desconectado, conformado por más de 1 componente (subgrafos) (**Tabla 8**). El número de componentes (NC) de los grafos de matorral con distancias umbrales de 100 m, es inferior al de los grafos que incluyen bosque, dado que la cantidad de parches de

matorral es muy inferior a la de bosque, y a su vez se encuentran acotados a unas pocas localidades, en las zonas Manantiales - El Caracol y Santa Teresa - Cerro Verde.

Por otro lado, los resultados del índice de Probabilidad de Conectividad (PC), que refieren a la conectividad global de las redes, para los grafos de nodos de matorral son inferiores a los valores de PC de los grafos que incluyen el bosque. Las especies que sólo utilizan los parches de matorral psamófilo como hábitat principal perciben el paisaje de forma más fragmentada que los que utilizan también los parches de bosque. Esto es debido a que el atributo máximo del paisaje de la **Ecuación 1**,  $A_L$ , es igual para los grafos conformados por ambos tipos de ambientes.

**Tabla 8.** Número de componentes (NC) y valor del índice de probabilidad de conectividad (PC) de los grafos por grupo de especie conformado por la combinación de hábitat y distancia máxima de movimiento. Valores más altos de NC y más bajos de PC indican que el paisaje es percibido de forma más fragmentada. En gris se indican los ocho grupos a los que fueron asignados las especies (ver **Anexo V.a** por los valores de todos los grupos teóricos de especies).

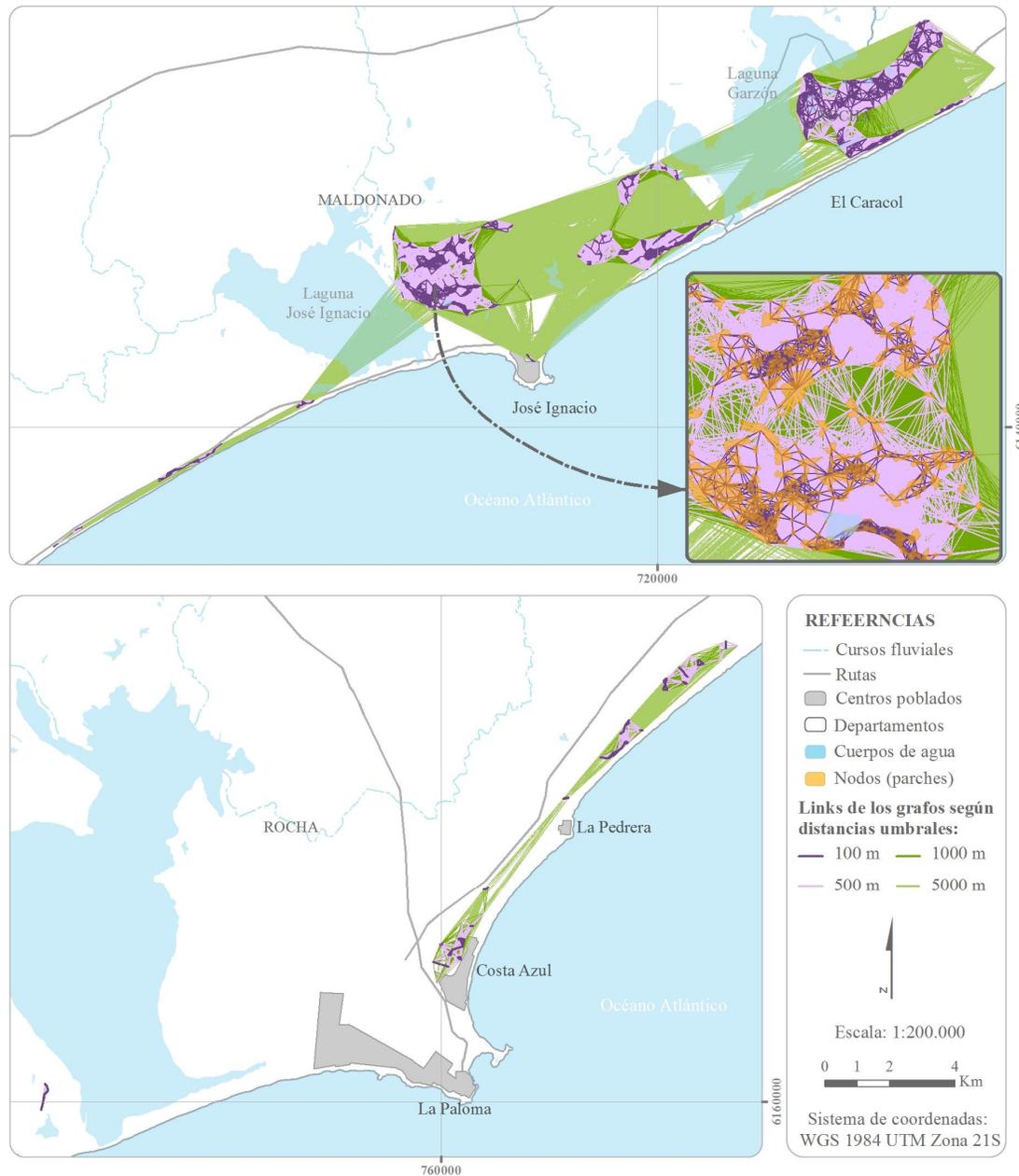
Hábitat	N° de parches	Distancia máxima de movimiento (en metros)							
		100		500		1000		5000	
		NC	PC	NC	PC	NC	PC	NC	PC
<b>Matorral</b>	<b>529</b>	24	8,5E <sup>-10</sup>	16	1,1E <sup>-9</sup>	10	1,2E <sup>-9</sup>	3	1,5E <sup>-9</sup>
<b>Bosque</b>	<b>1379</b>	178	1,3E <sup>-8</sup>	44	3,2E <sup>-8</sup>	32	4,5E <sup>-8</sup>	7	7,6E <sup>-8</sup>
<b>Matorral y Bosque</b>	<b>1908</b>	179	1,4E <sup>-8</sup>	45	3,5E <sup>-8</sup>	31	5,0E <sup>-8</sup>	6	9,2E <sup>-8</sup>

Nota: Los valores de NC son comparables sólo entre las distintas distancias de movimiento dentro de un mismo tipo de hábitat (dentro de una misma fila).

La distancia umbral del grafo de percolación es de 19.031m, tanto para la red de nodos de bosque y matorral como para la red de bosque. El grafo de parches de matorral presenta una distancia umbral de percolación de 120.732m. Para percibir el paisaje completamente conectado, las especies deben ser capaces de moverse dichas distancias fuera de los parches de hábitat primarios. Sin embargo, dado que el conjunto de las especies prioritarias para la conservación que utilizan estos ecosistemas como hábitat sólo pueden desplazarse distancias menores a estos valores, no se espera que exista flujo de individuos a lo largo de todo el paisaje.

Las **Figuras 6 y 7** muestran los grafos de nodos de matorral y bosque conformados con las distancias umbrales 100 (líneas violetas), 500 (líneas lilas), 1000 (líneas verdes oscuras) y 5000 (líneas verdes claras). Las líneas representan los links entre pares de nodos e indican que

las especies que pueden moverse a través de dichas distancias perciben los parches de hábitat conectados. Los grafos conformados con los grupos de especies que utilizan o matorral o bosque como hábitat principal se muestran en el **Anexo V.b**.



**Figura 6.** Grafos conformados por los nodos de matorral y bosque costero con distancias umbrales de 100, 500, 1000 y 5000 (distancias utilizadas por alguna de las especies), para las zonas de Manantiales – El Caracol (arriba) y La Paloma – Punta Rubia (abajo). El recuadro gris de la figura superior muestra el detalle de una zona de la costa, a escala 1:50.000, de los nodos (parches de hábitat) y links de las distintas distancias umbrales.



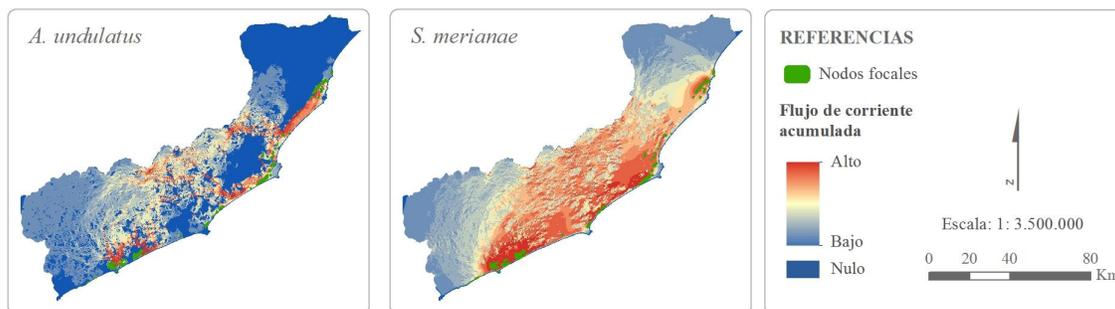
**Figura 7.** Grafos conformados por los nodos de matorral y bosque costero con distancias umbrales de 100, 500, 1000 y 5000 (distancias utilizadas por alguna de las especies), para las zonas de Cabo Polonio – Aguas Dulces (arriba) y Santa Teresa – Cerro Verde (abajo).

El número de componentes obtenido en los grafos de matorral y bosque generados con las distancias umbrales más pequeñas (0 a 100 m y 100 a 500 m) muestran una alta fragmentación del paisaje costero para las seis especies que tienen dichas capacidades de dispersión, incluso al interior de una misma localidad (**Tabla 8, Fig. 6 y 7**). Estas especies son los cuatro moluscos analizados, *B. corderoi*, *B. gorritiensis*, *D. papyraceus papyrifactus* y *A. lutescens*, que se mueven distancias inferiores a 100 m, y *D. novemcinctus* (mamífero) y *A.*

*undulatus* (reptil), cuya capacidad de movimiento entre parches de hábitat es entre 100 y 500 m.

#### *Análisis de circuitos*

Los resultados de los análisis de circuitos de cada especie muestran las zonas de la matriz que permiten conectar todos los parches de matorral y/o bosque psamófilo (**Fig. 8 - 11**). Para algunas de las especies pueden observarse amplias superficies que no presentan flujo de corriente (valor =0) y a su vez presentan zonas estrechas en las que se concentra el flujo, pinch-points. Este es el caso de *A. undulatus* (**Fig. 8**), *A. lutescens*, *B. corderoi*, *B. gorritiensis* (**Fig. 10**), *G. chopi*, *M. candidus* (**Fig. 11**). Un caso particular es el de *D. papyraceus papyrifactus* que no presenta flujo a través del paisaje sino que se encuentra confinado a las inmediaciones de los nodos de matorral y bosque, por lo que no existe posibilidad de conexión entre parches de distintas localidades (**Fig. 10**) (Taylor et al. 1993). Esta especie, a pesar de realizar un uso frecuente de otros tipos de bosques, al estar separados por ecosistemas que constituyen barreras a su movimiento (**Tabla 7, Anexo IV**), no se produce flujo de individuos desde el bosque costero hacia los otros tipos de bosque, por lo que las poblaciones costeras de esta permanecerían aisladas. Para las restantes especies el flujo de corriente se encuentra más distribuido, no identificándose claros pinch-points.



**Figura 8.** Mapas de corriente acumulada de las especies de reptiles.

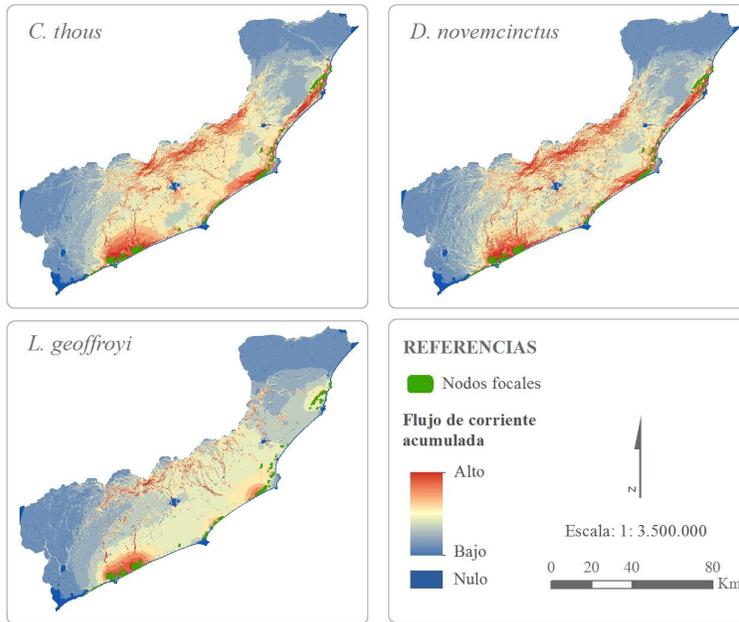


Figura 9. Mapas de corriente acumulada de las especies de mamíferos.

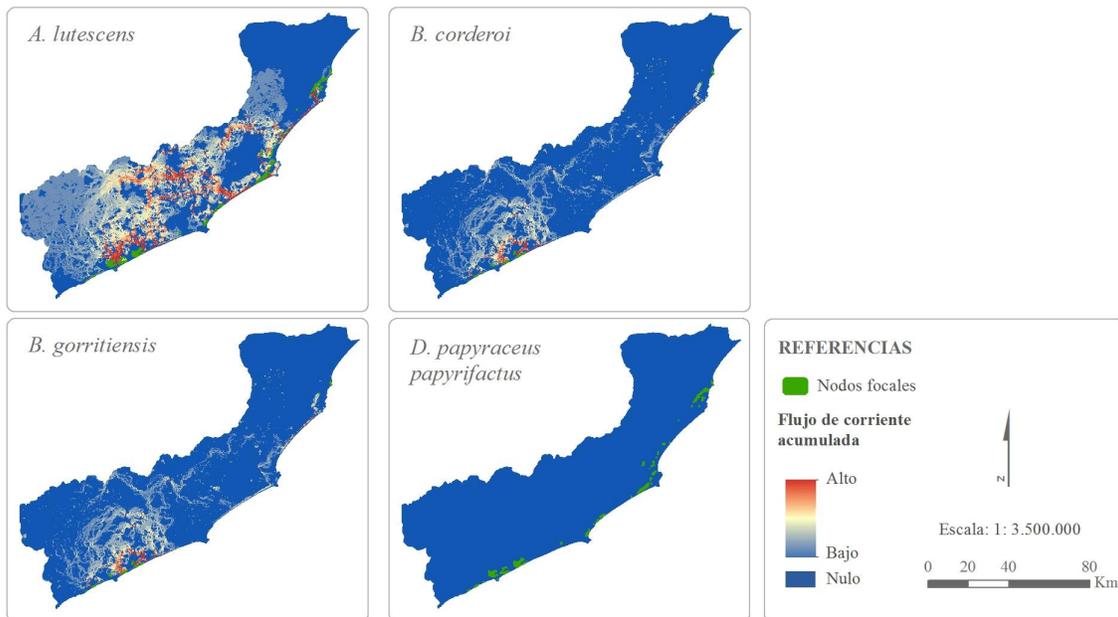
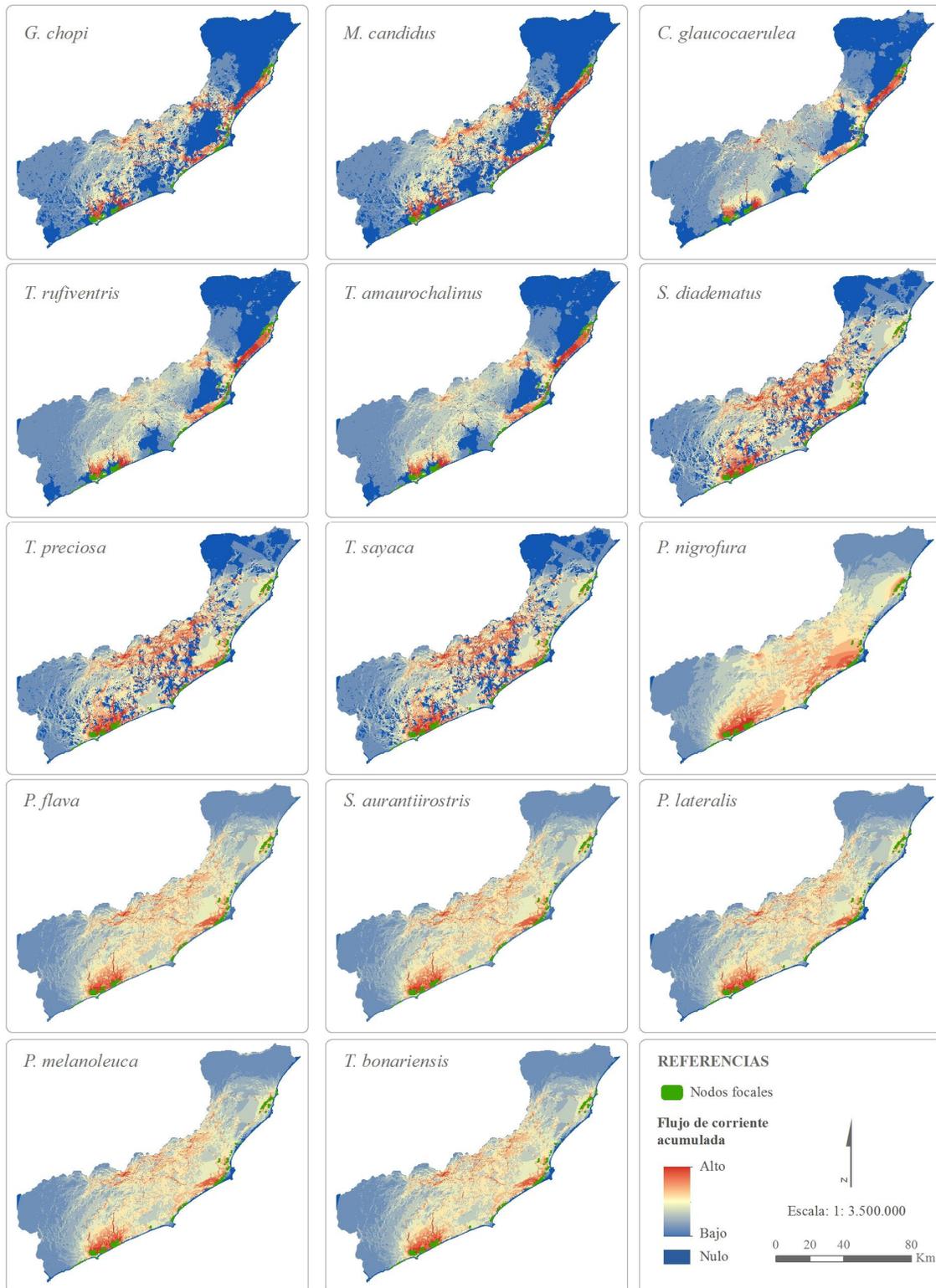


Figura 10. Mapas de corriente acumulada de las especies de moluscos.



**Figura 11.** Mapas de corriente acumulada de las especies de aves.

La **tabla 9** muestra para cada especie el porcentaje del paisaje utilizado para conectar los parches de matorral y bosque psamófilo. Las especies que utilizan un menor porcentaje del paisaje para realizar sus movimientos son las más vulnerables, dado que tienen menores alternativas de movimiento a través de la matriz. De las 23 especies analizadas, tres utilizan menos del 20% del paisaje, mientras que las restantes 20 especies utilizan más del 50% del paisaje (**tabla 9**).

La **tabla 9** integra los resultados de los análisis de teoría de grafos y de circuitos para todas las especies. Se puede observar que existe coincidencia entre los valores más críticos (bajos) de PC y los porcentajes menores del paisaje utilizado. A las tres especies de moluscos mencionadas precedentemente le siguen en vulnerabilidad *A. lutescens* y *A. undulatus*. No obstante, algunas de las especies que utilizan un porcentaje del paisaje menor en relación a otras especies, no presentan diferencias en sus valores de PC, como ser *M. candidus* y *G. chopi*. Por el contrario, *D. novemcinctus* presenta un bajo valor relativo de PC respecto a la mayoría de las especies pero un muy alto porcentaje de utilización del paisaje. Las especies con valores más críticos de PC y de menor porcentaje de uso del paisaje son especies amenazadas y objetos de conservación del SNAP.

**Tabla 9.** Vulnerabilidad de las especies de acuerdo al valor de probabilidad de conectividad (PC) y el porcentaje del paisaje utilizado. Las especies están ordenadas por valor creciente de PC. Valores inferiores de PC indican menor conectividad de acuerdo a la teoría de grafos. Valores inferiores de porcentaje de uso del paisaje indican menor conectividad según la teoría de circuitos. Se indica a cuál de los grupos de la **tabla 6** pertenece cada especie.

Especie (nombre científico)	Grupo taxonómico	Grupo de especies	Valor PC (E <sup>-7</sup> )	% del paisaje utilizado por la especie
<i>Bulimulus corderoi</i>	Moluscos	1	0,01	16,3
<i>Bulimulus gorritiensis</i>	Moluscos	1	0,01	16,3
<i>Drymaeus papyraceus papyrifactus</i>	Moluscos	13	0,14	0,1
<i>Austroborus lutescens</i>	Moluscos	13	0,14	50,2
<i>Anisolepis undulatus</i>	Reptiles	8	0,32	59,6
<i>Dasypus novemcinctus</i>	Mamíferos	14	0,35	96,7 <sup>s</sup>
<i>Gnorimopsar chopi</i>	Aves	9	0,45	59,9*
<i>Cyanoloxia glaucocaerulea</i>	Aves	9	0,45	71,9
<i>Piranga flava</i>	Aves	9	0,45	97,4
<i>Saltator aurantirostris</i>	Aves	9	0,45	97,4
<i>Turdus amaurochalinus</i>	Aves	15	0,5	72,7
<i>Turdus rufiventris</i>	Aves	15	0,5	72,7
<i>Stephanophorus diadematus</i>	Aves	15	0,5	78,3
<i>Tangara preciosa</i>	Aves	15	0,5	78,3
<i>Thraupis sayaca</i>	Aves	15	0,5	78,3

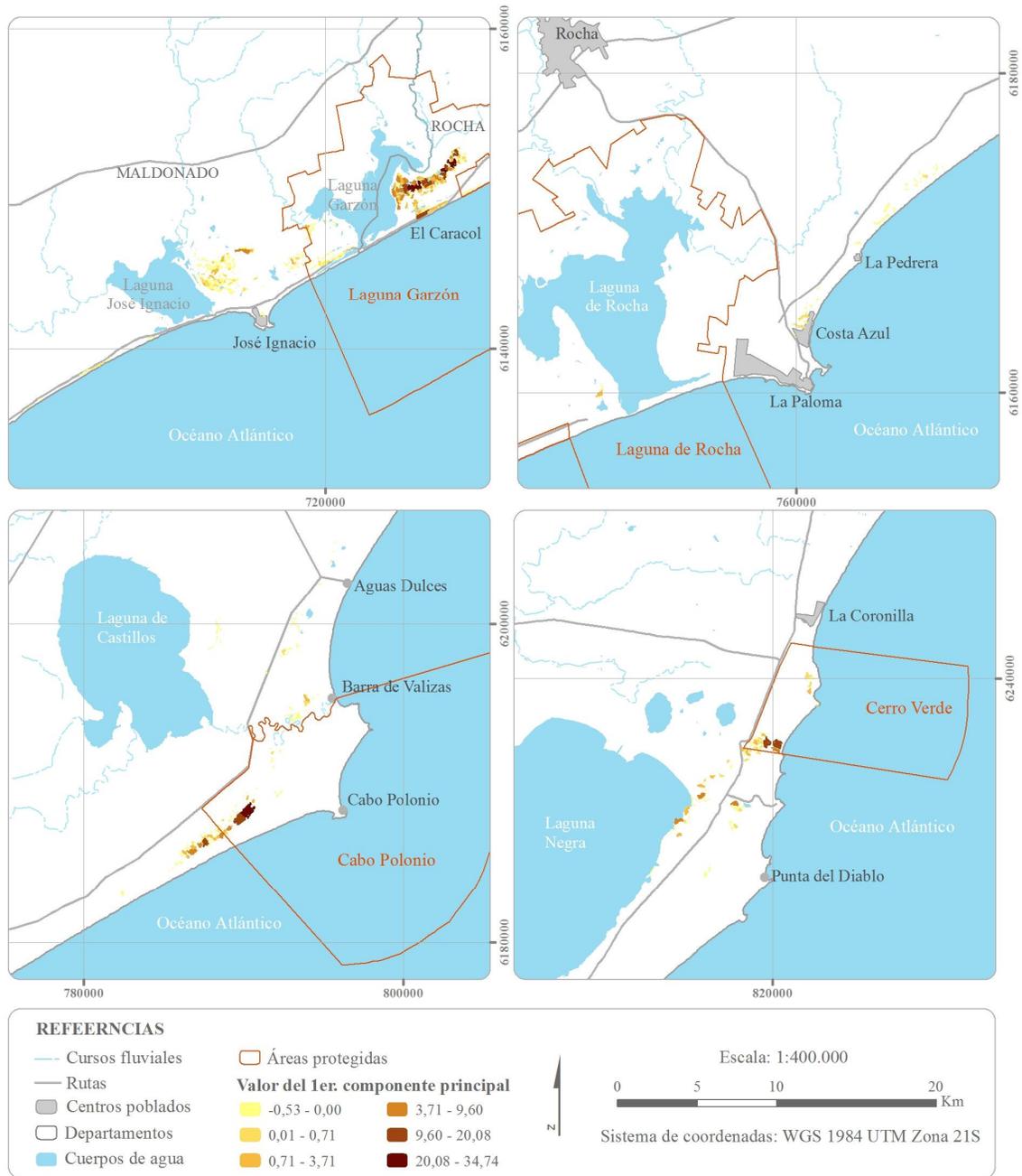
<i>Cerdocyon thous</i>	Mamíferos	15	0,5	96,7
<i>Leopardus geoffroyi</i>	Mamíferos	15	0,5	96,7
<i>Poospiza nigrofura</i>	Aves	15	0,5	97,3
<i>Poospiza lateralis</i>	Aves	15	0,5	97,4
<i>Poospiza melanoleuca</i>	Aves	15	0,5	97,4
<i>Thraupis bonariensis</i>	Aves	15	0,5	97,4
<i>Melanerpes candidus</i>	Aves	10	0,76	59,9*
<i>Salvator merianae</i>	Reptiles	16	0,92	97,4

\* Especies con valores relativamente bajos de porcentaje de uso del paisaje y altos valores de PC. § Especies con altos valores de porcentaje de uso del paisaje y bajo valor de PC

### Sitios de mayor relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario actual

#### *Parches de matorral y bosque costeros críticos para el mantenimiento de la conectividad global del paisaje*

De acuerdo al análisis de componentes principales de los valores de importancia de los nodos (dPC) definidos a partir del índice de probabilidad de conectividad de los grafos de matorral y bosque, las zonas más relevantes para mantener la conectividad actual del paisaje para especies que utilizan ambas formaciones vegetales, considerando el primer componente principal que explica el 87% de la varianza (**Anexo V.c**), son El Caracol y Cabo Polonio (**Fig. 12**). En la siguiente categoría de importancia se destacan parches de las mismas localidades así como de Cerro Verde y de Perla de Rocha. Por otra parte, el sitio de mayor importancia para mantener la conectividad de especies que utilizan solamente el matorral es El Caracol. El índice de probabilidad de conectividad considera el tamaño, la calidad, ubicación y forma de los parches de hábitat, en tal sentido las zonas identificadas se corresponden con parches de matorral y bosque de gran tamaño y bien conservados, y se ubican en posiciones centrales de la costa atlántica. Los parches de El Caracol, Cabo Polonio y Cerro Verde se encuentran dentro de las áreas protegidas Laguna Garzón, Cabo Polonio y Cerro Verde e Islas de la Coronilla respectivamente (**Fig. 12**). Por otra parte, los parches de Perla de Rocha no se encuentran en ningún área protegida, pero dada su cercanía presentan una alta conectividad con los parches de Cabo Polonio (**Fig. 7**).



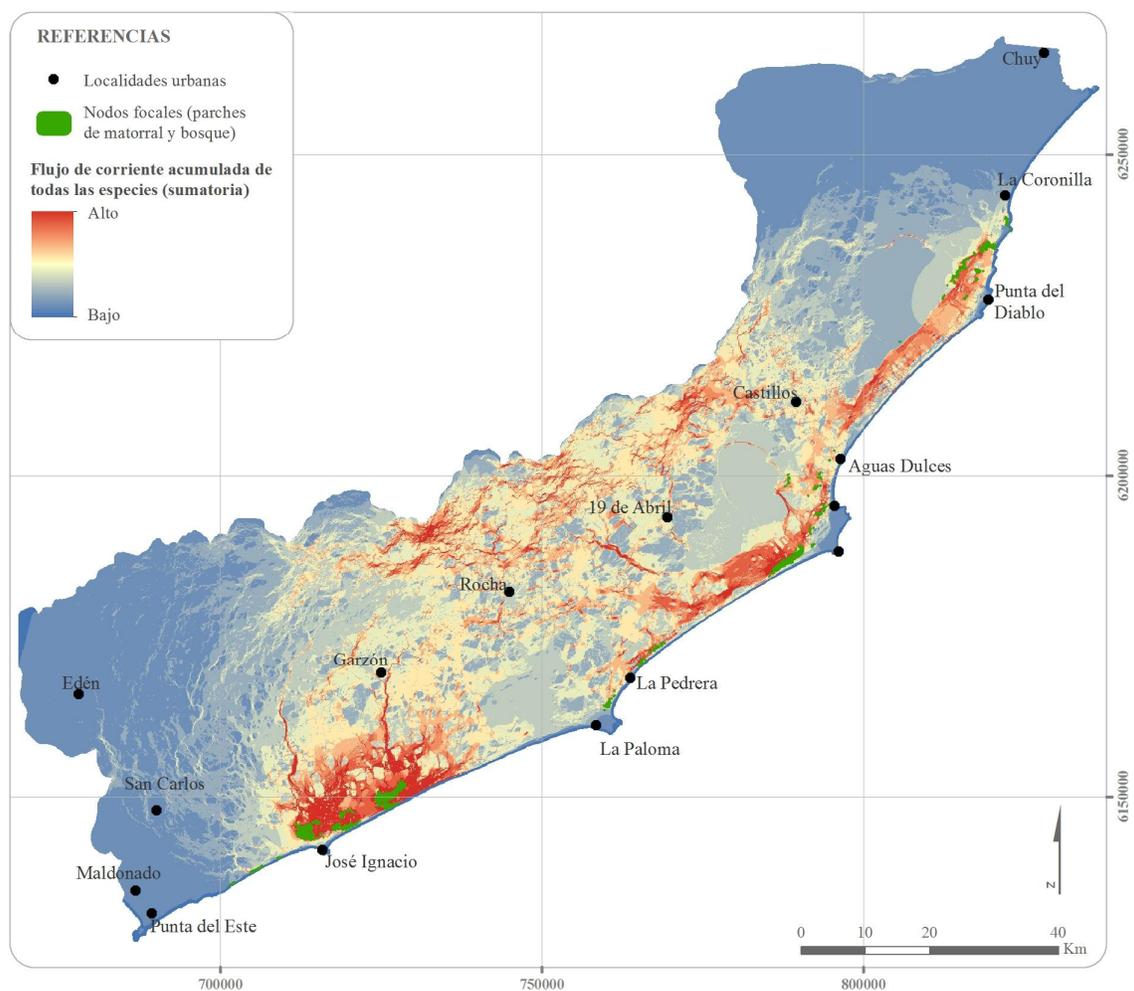
**Figura 12.** Importancia de los nodos de matorral y bosque de acuerdo al valor del primer componente principal de dPC, en relación a los límites de las áreas protegidas. Los rangos de clase se definieron por cortes naturales, agregando un corte en 0.

La **Figura 13** muestra la relación entre el valor del componente principal realizado con dPC y el valor del atributo de los nodos (superficie \* calidad). Si bien existe correlación entre el valor de atributo de los parches y el valor del componente principal de dPC, se observan varios puntos con alto valor de dPC que no presentan un alto valor de atributo. La relevancia



14). Dichas concentraciones de movimiento se observan tanto en la zona costera como hacia algunas zonas altas de la cuenca.

Los ecosistemas ocupados por las zonas donde se concentra el decil superior de flujo de corriente son en su mayoría praderas o humedales semipermanentes (59%), seguidos de los otros tipos de bosque (20%) (Anexo II).



**Figura 14.** Mapa de suma de los mapas de flujo de corriente de las 23 especies analizadas (estandarizados de 0 a 1) (Fig. 8 - 11), en relación a la localización de los nodos focales. Los rangos de valores se definieron a partir de clasificación por cuantiles, siguiendo a McRae y colaboradores (2013).

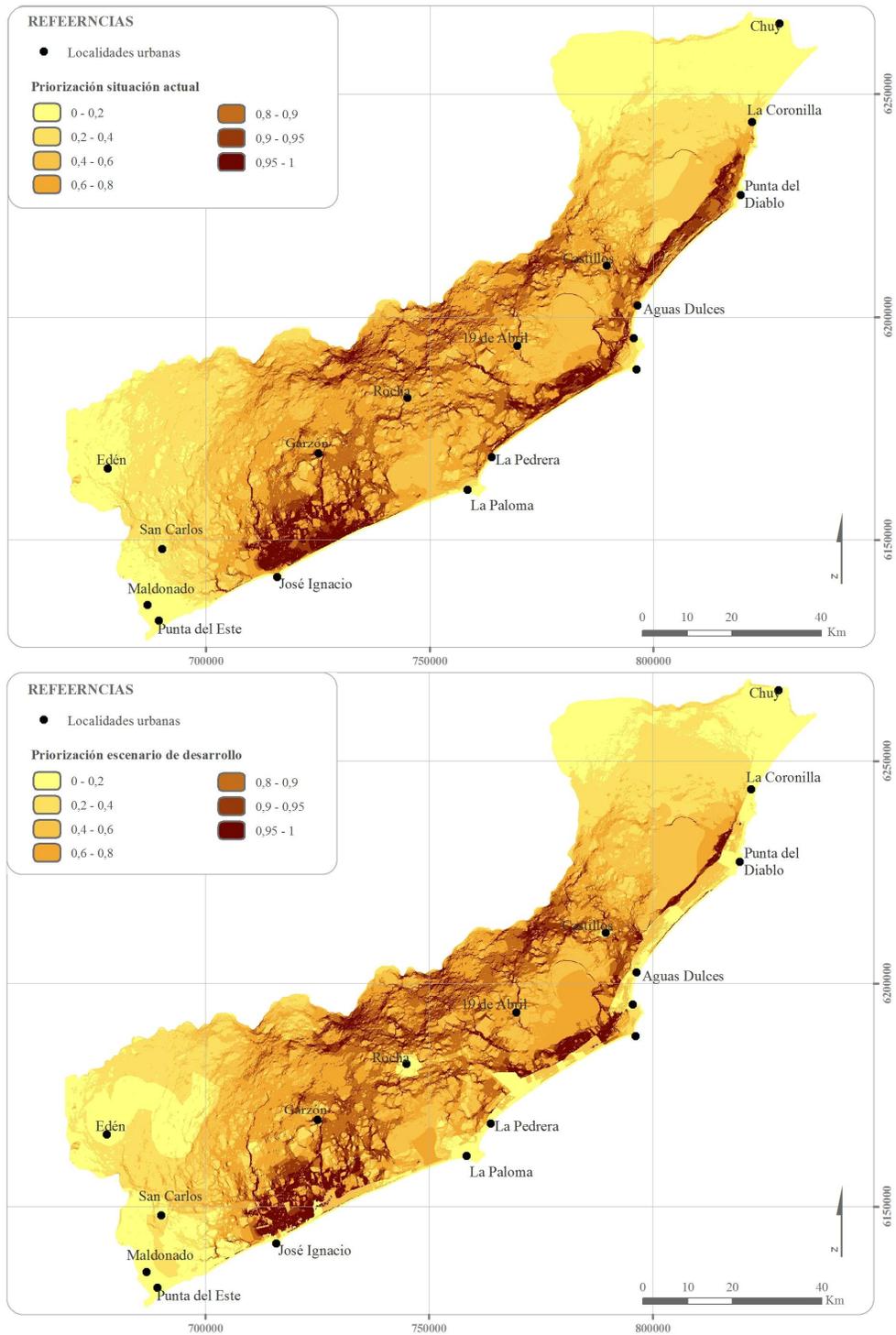
Los sitios de concentración de flujo o pinch-points se registran tanto en el resultado de la suma de las corrientes acumuladas de todas las especies, así como para algunas especies particulares que también presentan sus movimientos a través de la matriz confinados a zonas

estrechas donde se concentra el flujo y rodeadas de zonas donde no existe flujo (**Fig. 8, 10-11**).

#### Sitios de mayor relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario de desarrollo

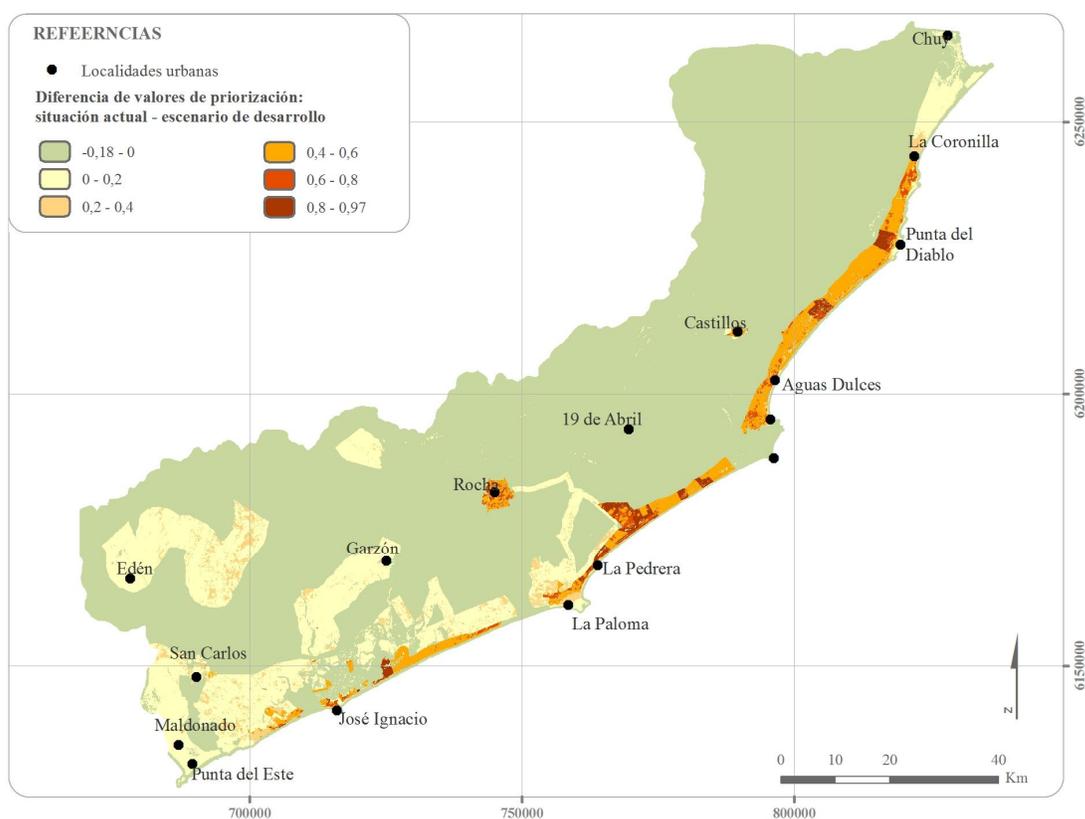
La comparación de las zonas de mayor jerarquía para mantener el flujo de individuos de las especies analizadas, a través de todo el paisaje costero en la situación actual de usos del suelo, respecto al mismo análisis realizado bajo el escenario de desarrollo en el marco de la implementación de los planes de OT, se muestra en la **Figura 15**. En la situación actual, las zonas de mayor importancia para la circulación de individuos se distribuyen a lo largo de la costa así como hacia algunas zonas de la cuenca media y alta (**Fig. 15 – superior**). En el escenario de desarrollo, el cambio de cobertura del suelo de rural a suburbano y urbano genera zonas menos propicias para el flujo de individuos en la costa. En tal sentido, los sitios de mayor relevancia para mantener el flujo de individuos dejan de estar concentrados en la faja costera donde se espera se produzca un crecimiento de las zonas urbanas y suburbanas, y adquieren mayor relevancia zonas de la cuenca alta sobre suelo rural (**Tabla 10**).

Las zonas más jerarquizadas en el escenario de desarrollo son aquellas donde la viabilidad de implementar acciones de conservación para mantener la conectividad de las especies es mayor, dado que los conflictos con otros usos son menores. Los sitios que hacen una mayor contribución para mantener la conectividad de las especies se corresponden con zonas de categoría de suelo rural, y las zonas con categoría de suelo urbano y suburbano, que son las que comprenden la mayor cantidad de parches de matorral y bosque, pasan a tener menor prioridad (**Fig. 15-inferior**). Estos cambios son particularmente destacados en el departamento de Rocha, donde una alta proporción de los parches de matorral y bosque quedan rodeados de zonas de baja prioridad para la conservación, que resultan en parches aislados producto de la urbanización (**Fig. 15 y 16**).



**Figura 15.** Jerarquización del territorio para mantener la conectividad del paisaje considerando los mapas de circuitos de las 23 especies, resultante del análisis de priorización realizado con el *software* Zonation. Los rangos de clase indican la proporción del territorio según prioridad (0 – 0,2 es el 20 % del territorio de menor prioridad y 0,95 – 1 es el 5% del territorio de mayor prioridad. Arriba: Situación actual; Abajo: Escenario de desarrollo de instrumentos de ordenamiento territorial.

La **Figura 16** muestra la diferencia en los valores de los píxeles entre la jerarquización actual para mantener la conectividad de las especies y la jerarquización considerando las categorías de suelo de los instrumentos de ordenamiento territorial del escenario de desarrollo (diferencias de los mapas de la **Figura 15**). Las zonas con valores de pérdida más altos son aquellas que contribuyen en mayor medida a mantener la conectividad en la situación actual, pero que en el escenario de desarrollo pasan a tener un valor bajo debido a que el cambio de cobertura los hace poco aptos para el flujo de individuos de las especies analizadas. Las zonas en las que la prioridad disminuye se corresponden con las categorías de suelo urbano, suburbano y rural potencialmente transformable. Gran parte de la zona costera registra cambios de prioridad superior al 40%, donde las categorías de suelo son urbano o suburbano (**Tabla 10**). Estos sitios son los que producen una mayor pérdida de conectividad del paisaje para dichas especies, sitios donde es necesario implementar medidas de gestión del territorio que faciliten el flujo de los organismos, de forma de reducir los impactos sobre las especies.



**Figura 16.** Diferencia de valores de priorización por píxel entre la situación actual y el escenario de desarrollo (mapas **Fig. 15**). Las tonalidades de amarillo a marrón indican la magnitud de la disminución de la prioridad de los píxeles en el escenario de desarrollo y el color verde indica píxeles donde incrementa la prioridad en dicho escenario.

**Tabla 10.** Prioridad promedio en la situación actual y en el escenario de desarrollo por categoría de ordenamiento territorial (OT). Las flechas indican el aumento (mejora) o disminución (empeora) de la prioridad promedio en el escenario de desarrollo respecto a la situación actual.

<b>Categoría de ordenamiento territorial</b>	<b>Promedio de prioridad actual</b>	<b>Promedio de prioridad escenario</b>
Rural	0,5	0,56 ↑
Rural natural	0,42	0,53 ↑
Rural potencialmente transformable	0,51	0,4 ↓
Suburbano	0,58	0,23 ↓
Urbano - Industrial	0,46	0,02 ↓

## **Discusión**

El matorral y bosque costero atlántico ocupa una superficie de 928 hectáreas (0,005% de la superficie terrestre de Uruguay), el 70 % de la cual se encuentra en suelos categorizados como urbanos o suburbanos, por lo que presentan un alto riesgo potencial de afectación a nivel de pérdida total o fragmentación de los parches de matorral y bosque. Es utilizado como hábitat principal por 23 especies de vertebrados e invertebrados terrestres prioritarios para la conservación (9% del total de animales terrestres prioritarios para la conservación). Las tres especies que pueden verse mayormente afectadas por la fragmentación y pérdida de hábitat son moluscos (*Bulimulus corderoi*, *Bulimulus gorritiensis*, *Drymaeus papyraceus papyrifactus*). Los parches de mayor relevancia para mantener la conectividad actual del paisaje se encuentran en El Caracol, Cabo Polonio, Cerro Verde y Perla de Rocha. Las tres primeras localidades se encuentran dentro de áreas protegidas, en las que el matorral y bosque costero son objetos de conservación, es decir que éstos deberían ser gestionados específicamente para mantener y/o mejorar su estado de conservación. Las zonas de la matriz que son más importantes para mantener la conectividad del paisaje en la situación actual son las zonas costeras donde existen praderas naturales, así como los bosques fluviales y serranos en posiciones medias y altas de la cuenca. Los cambios asociados al escenario de desarrollo de los instrumentos de ordenamiento territorial se producen en las zonas de mayor importancia para mantener la conectividad de las especies en la situación actual. Su implementación implica la afectación al movimiento de las especies dado que disminuye el hábitat disponible para ello, afectando el flujo de individuos entre localidades y aumentando la probabilidad de que se produzcan extinciones locales (Fahrig, 2003; Haddad *et al.*, 2015).

*Especies más vulnerables a los efectos de la fragmentación y pérdida de hábitat de matorral y bosque costero atlántico, dada la configuración actual del paisaje*

De las 23 especies prioritarias para la conservación que utilizan el matorral y/o bosque como hábitat principal, tres especies de moluscos (*B. corderoi*, *B. gorritiensis* y *D. papyraceus papyrifactus*) son las que pueden verse mayormente afectadas por la fragmentación y pérdida de hábitat. Este resultado es apoyado tanto por los análisis de grafos como de circuitos, dado que estas especies, a diferencia de las restantes, no pueden realizar desplazamientos largos entre parches de hábitat y presentan escasa o nula capacidad de movimiento a través de los ecosistemas de la matriz. La evaluación del estado de conservación de estas especies realizado por Clavijo y Scarabino (2013) las definen como especies amenazadas a nivel nacional y como objetos de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), por lo que las áreas protegidas constituyen una estrategia de conservación adecuada a la ecología de las especies. Cabe destacar además que *B. corderoi* y *B. gorritiensis* utilizan sólo el matorral costero como hábitat principal y su distribución en Uruguay está acotada a la costa atlántica (Clavijo y Scarabino, 2013), lo que reduce la superficie de ecosistemas disponibles para las mismas en el país a 80 hectáreas. A su vez, esa superficie se encuentra dispersa en localidades distantes de la costa (~120 Km), lo que reduce en mayor medida la superficie disponible para las poblaciones aisladas. Por su parte, *D. papyraceus papyrifactus*, es especialista de hábitat de tipo boscoso y no presenta posibilidades de movimiento entre los bosques costeros y los fluviales y serranos debido a que no existe conectividad estructural ni funcional entre estos ecosistemas que permita el flujo de individuos, por lo cual las distintas poblaciones costeras se encuentran aisladas unas de otras (Taylor *et al.*, 1993).

Los valores de los índices de conectividad realizados con análisis de grafos espaciales de los distintos grupos de especies concuerdan con lo esperado de acuerdo a la teoría, a menores distancias de movimiento menores son los valores de conectividad y las especies observan de forma más fragmentada el paisaje (Keitt *et al.*, 1997; Urban y Keitt, 2001). Asimismo, las especies que perciben el paisaje de forma más fragmentada de acuerdo a los análisis de grafos espaciales son las cuatro especies de menor tamaño corporal (moluscos terrestres), lo cual se ajusta a lo obtenido por Borthagaray y colaboradores (2012). No obstante las restantes especies no presentan una relación clara entre el tamaño corporal y capacidad de movimiento.

Desde la perspectiva de la teoría de grafos aplicada a ecología del paisaje, todas las especies prioritarias para la conservación que utilizan el matorral y/o bosque psamófilo como hábitat

primario, perciben el paisaje de forma fragmentada. Dada la configuración del paisaje costero y las características ecológicas de las especies analizadas, éstas no pueden desplazarse entre los parches de matorral y bosque de toda la costa, porque no superan la distancia umbral que permite mantener a todos los parches conectados, de acuerdo a Rozenfeld y colaboradores (2008).

De acuerdo a los resultados basados en teoría de circuitos, al considerar la matriz en los flujos de individuos entre nodos focales de hábitat, todas las especies a excepción de *D. papyraceus papyrifactus*, perciben el paisaje, en mayor o menor medida, conectado, dado que son especies multihábitat y utilizan distintos ecosistemas para sus movimientos (Forman, 1995). No obstante, para algunas especies los flujos de movimiento entre parches de matorral y bosque psamófilo están confinados a zonas muy estrechas en las que se concentra una alta cantidad de flujo (“pinch-points”). Estas especies presentan mayor riesgo de perder conectividad entre los parches de matorral y bosque dado que la pérdida de esos pequeños sectores del territorio puede implicar el aislamiento de poblaciones (Shah y McRae, 2008).

Los resultados de los análisis de conectividad realizados bajo ambas perspectivas arrojan resultados similares para las especies más críticas. A las tres especies de moluscos arriba mencionadas le siguen en vulnerabilidad *Austroborus lutescens* y *Anisolepis undulatus*, también especies amenazadas y objetos de conservación del SNAP. No obstante, los análisis no comparten iguales resultados con las especies que presentan desplazamientos amplios pero que utilizan escasos ecosistemas para realizar sus movimientos (ejemplo: *Gnorimopsar chopi* y *Melanerpes candidus*), ni las especies con escasa capacidad de desplazamiento pero que utilizan una amplia variedad de ecosistemas para moverse (ejemplo: *Dasypus novemcinctus*). Para las especies con escasa capacidad de movimiento pero que utilizan los ecosistemas de la matriz de forma indistinta, los análisis de grafos muestran el paisaje de forma más fragmentada de lo que lo perciben las especies, dado que éstas no presentan resistencia al movimiento entre parches de hábitat a través de la matriz. Por otra parte, las especies con barreras al movimiento a través de la matriz deben realizar recorridos más extensos que su capacidad de movimiento, por lo que pueden percibir el paisaje más fragmentado que lo que resulta de los análisis de grafos. En tal sentido, las especies que perciben la matriz de forma heterogénea requieren de análisis detallado de los flujos a través de la matriz para evaluar su conectividad (Bender y Fahrig, 2005).

### *Sitios de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad actual del paisaje*

Los parches de mayor importancia para el mantenimiento de la conectividad global de la red se encuentran actualmente, en su mayoría, dentro de áreas protegidas (Laguna Garzón, Cabo Polonio y Cerro Verde). Fuera de áreas protegidas se destacan por su importancia parches en la localidad de Perla de Rocha, y también constituyen localidades de importancia para la conectividad la zona de Santa Teresa y José Ignacio. La pérdida total o fragmentación de estos parches genera una disminución considerable de la conectividad para las especies analizadas, por pérdida de hábitat disponible (conectividad intraparche) así como de posibilidad de colonización de nuevos parches (conectividad interparche) (Saura y Pascual-Horta, 2007). La importancia de estos parches está asociada a las posibilidades de desplazamiento de las especies analizadas, por lo cual los conjuntos de escasos y pequeños parches que se encuentran en otras localidades aisladas (ejemplo: La Paloma – Punta Rubia), son menos relevantes para mantener la conectividad de toda la costa atlántica. Esto se debe a que las distancias de conexión de grafos no son suficientes para actuar como intermediarios o “stepping stones” entre las localidades con mayor superficie de matorral y bosque, y menos aisladas de sus vecinas. Este resultado puede ser distinto al considerar especies que tengan mayor capacidad de movimiento, para las cuales estas localidades aisladas pueden actuar como “stepping stones”.

Las áreas protegidas de la costa atlántica comprenden el 56 % de la superficie de matorral y bosque psamófilo (53% de la superficie de bosque y el 85% de la superficie de matorral), así como los parches de mayor relevancia para la conectividad de especies de vertebrados y moluscos prioritarios para la conservación. No obstante en el área protegida Laguna Garzón, los parches de mayor relevancia para la conectividad se encuentran sobre suelos de categoría urbana y suburbana de acuerdo a los instrumentos de ordenamiento territorial, donde existe un alto potencial de transformación de la cobertura vegetal para la construcción de edificaciones e infraestructuras. La conservación de las comunidades vegetales de matorral y bosque psamófilo como objetos focales de conservación de estas áreas puede redundar en los beneficios para mantener la biodiversidad faunística de dichas comunidades vegetales a lo largo de la costa. No obstante cabe mencionar la necesidad de medidas específicas de gestión en estas áreas protegidas que permitan asegurar la conservación de los parches de hábitat. En tal sentido presentan especial relevancia las medidas de conservación que se definan en los planes de manejo de dichas áreas para conservar los parches de matorral y bosque psamófilo,

así como las características de la matriz, con el fin de mantener la conectividad para las especies prioritarias de mayor vulnerabilidad. En este sentido, las áreas protegidas constituyen una oportunidad para la definición de medidas de conservación sobre los parches de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad, así como sobre la matriz entre los parches de forma de permitir los flujos de individuos entre ellos.

Las zonas de la matriz que presentan mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad entre los parches de matorral y bosque se corresponden con otros tipos de bosque nativo, fluvial y serrano, en posiciones medias y altas de la cuenca, así como con zonas de pastizales naturales costeros que constituyen la matriz predominante en torno a los parches de matorral y bosque. Estas zonas son de especial importancia dado que permiten el flujo de individuos de la gran mayoría de las especies entre las distintas localidades en las que se encuentran los parches de matorral y bosque. Asimismo, algunas de estas zonas, como ser los arroyos Garzón, De Rocha y Don Carlos, y sierras de la cuenca de Laguna de Rocha y de Castillos, constituyen pinch-points, y por tanto se corresponden con zonas de alta sensibilidad dado que son muy estrechas y la transformación de sus ecosistemas puede redundar en la pérdida de la conectividad de varias especies (Shah y McRae, 2008). Desarrollar actividades de gestión específicas en estas zonas es de especial importancia para mantener los flujos entre parches de matorral y bosque dentro de una localidad o de localidades vecinas. En particular la Ley Forestal N° 15.939 (PL, 1988) puede constituir una herramienta normativa para la conservación de los bosques fluviales y serranos de importancia para la conectividad. En el caso de los pastizales, que cubren una superficie mayor de las zonas más prioritarias para mantener los flujos de individuos, no existe normativa nacional específica a nivel de dichos ecosistemas que permita asegurar su conservación. En tal sentido cobra mayor relevancia la aplicación de normativa específica a nivel territorial para asegurar la conectividad del paisaje costero. El procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) asociado a la Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible N° 18.308 (PL, 2008), así como de Autorización Ambiental Previa (AAP) asociado a la Ley de Medio Ambiente N° 16.466 (PL, 1994), constituyen instancias en las que es posible determinar pautas para la modificación de la cobertura del suelo, que permitirían disminuir los impactos sobre estas zonas de especial interés. Asimismo, la Ley del Sistema Nacional de Áreas Protegidas N° 17.234 (PL, 2000), prevé la definición de zonas adyacentes entorno a las áreas protegidas, en las que se definen medidas de protección a la biodiversidad, cuya implementación contribuiría al mantenimiento de la conectividad del paisaje entorno a las áreas protegidas que son de especial importancia.

### *Sitios de relevancia para mantener la conectividad del paisaje en el escenario de desarrollo*

La implementación de los instrumentos de ordenamiento territorial en la cuenca atlántica tiene un importante impacto sobre la disponibilidad de hábitat de matorral y bosque costero para las especies que los utilizan, así como sobre los flujos de individuos a través de la matriz. La mayor parte de la faja costera, presenta categoría de suelo urbana o suburbana, lo que implica un potencial de transformación de cobertura de suelo importante. Tanto las zonas urbanas como suburbanas presentan una división de la tierra en parcelas de propiedad privada, de tamaño reducido, entre 450 m<sup>2</sup> y 5 ha. En tal sentido la propiedad de los parches de matorral y bosque bajo estas categorías de suelo están subdivididos en parcelas con dichas dimensiones. Cada parcela puede, potencialmente, si se autoriza su construcción, ser edificada, modificando la superficie y/o calidad de los parches en distinta medida, generando así procesos de fragmentación y pérdida de hábitat. Estas modificaciones son pasibles de producirse también sobre otros tipos de cobertura vegetal que constituyen la matriz entorno a los parches de matorral y bosque, provocando la disminución del flujo de individuos entre los parches de hábitat. Dada la distribución de la categorización del suelo, estos cambios de cobertura de vegetación se darán en la zona costera, donde se encuentra una alta proporción de los sitios de mayor relevancia para mantener la conectividad en la situación actual, en particular en los tramos: Laguna de José Ignacio-Laguna de Rocha, La Pedrera-Perla de Rocha y Aguas Dulces-Cerro Verde).

El análisis de priorización del territorio en el escenario de desarrollo indica las zonas donde se puede compatibilizar el mantenimiento de la conectividad y el desarrollo socioeconómico de la zona de estudio, buscando la menor pérdida para las distintas opciones de uso del territorio (Moilanen *et al.*, 2011). No obstante, las zonas de mayor prioridad para el mantenimiento de la conectividad en la situación actual se encuentran en la zona costera donde para el escenario de desarrollo se definen zonas urbanas y suburbanas, que compiten con el mantenimiento de la conectividad y por tanto disminuyen la priorización del territorio en el escenario de desarrollo. En dichas zonas se generan los sitios de mayor costo de cambio en el escenario, en las que la disminución de prioridad es superior al 40%, alcanzando en algunos sitios una disminución de hasta un 97%. Esto implica que las zonas que contribuyen al flujo de individuos entre los parches de matorral y bosque costero se trasladan hacia zonas menos óptimas desde el punto de vista del movimiento de las especies, implicando un mayor costo de traslado. Esto puede llevar a la disminución de la conectividad del paisaje para

determinadas especies (Taylor *et al.*, 1993). En tal sentido, si bien la priorización es la mejor para el conjunto de usos analizados, seguir dichas prioridades puede implicar la promoción del aislamiento de parches de matorral y bosque de determinadas zonas de la costa respecto al resto de la cuenca atlántica, con el consecuente aislamiento de las poblaciones de EPC que se quieren conservar. En tal sentido, es necesario que la implementación de los instrumentos de ordenamiento territorial que implican modificaciones a nivel de edificación y generación de infraestructuras se realicen buscando armonizar las transformaciones con el mantenimiento de la conectividad al interior de las localidades urbanas y suburbanas, para mantener el flujo entre parches de hábitat cercanos (Forman, 1995). En particular, en las zonas de categoría de suelo rural potencialmente transformable, al momento de evaluar las urbanización a realizarse en el marco de Planes de Acción Integrada (PAI), la consideración de la conectividad del paisaje para las especies como una variable a considerar para el diseño de las mismas puede contribuir a disminuir los impactos sobre el mantenimiento de la biodiversidad a nivel local. La información de conectividad generada es de especial relevancia para la zonificación del área protegida Laguna Garzón que es el área que cuenta con una mayor proporción de los parches sobre suelos urbanos y suburbanos y que aún no ha iniciado el proceso de elaboración de su plan de manejo, así como para las AAP de construcciones de particulares que se soliciten dentro de los límites del área.

## **Conclusiones**

1. Los análisis de teoría de grafos y de circuitos son complementarios a la hora de definir estrategias de conservación de la biodiversidad a través del análisis de la conectividad funcional de las especies, dado que focalizan en distintos aspectos del mismo proceso. Mientras la teoría de grafos espaciales permite identificar parches de hábitat específicos de especial importancia para el mantenimiento de la conectividad de la red de parches, la teoría de circuitos permite identificar los sitios de la matriz que permiten hacer efectivo el flujo de individuos entre parches. Para especies multihábitat los análisis de circuitos se adecuan mejor a la aproximación del movimiento de las especies (McRae *et al.*, 2008), mientras que para las especialistas de hábitat los grafos son más adecuados.
2. Los resultados alcanzados en la presente tesis constituyen una hipótesis a priori de la conectividad regional de las especies analizadas. La consideración de grupos de especies que comparten atributos de movimiento y uso de hábitat es una forma de incorporar múltiples especies en el análisis de forma simplificada como primera aproximación. El

testeo en campo es de especial relevancia para la evaluación de los resultados y el consecuente ajuste de los parámetros de los modelos de movimiento de las especies. En particular es necesario obtener datos de campo de las distancias que recorren diariamente los individuos de cada especie, y los ecosistemas que efectivamente utilizan para realizar dichos recorridos.

3. La aproximación utilizada puede ser aplicada a otras zonas, a otras escalas, a otros ecosistemas y a otros taxa. En particular, un aspecto no abordado en los análisis realizados es la conectividad para las especies vegetales. Esto permitiría la comprensión global del sistema, y el planteo de medidas de gestión para el mantenimiento de la biodiversidad asociada a estos ecosistemas. Asimismo, el cambio de escala para abordar los movimientos de individuos entre parches de una misma localidad constituye un insumo para evaluar el impacto de intervenciones puntuales en el territorio que pueden afectar los movimientos locales de las especies. En la planificación del ordenamiento urbanístico dentro de cada localidad en la que existen parches de matorral y bosque, pueden analizarse los cambios de conectividad afectando una determinada superficie y/o calidad de parche de matorral o bosque en situaciones reales ante proyectos de construcción aislados o de intervenciones urbanísticas integrales, como lo son los Planes de Acción Integrada (PAI) de ordenamiento territorial. A su vez, a nivel local, el cambio de escala puede facilitar la identificación de zonas donde es necesario llevar a cabo medidas de restauración para incrementar la conectividad funcional de las especies.
4. La presente tesis define las zonas de mayor importancia para mantener los flujos de los individuos a lo largo de la costa, que permiten mantener la conectividad de las especies entre parches de matorral y bosque costero, y las especies más vulnerables a la fragmentación y pérdida de hábitat. Asimismo, sienta las bases de los posibles impactos que pueden generar las transformaciones del suelo asociadas a los instrumentos de ordenamiento territorial sobre dichos flujos y en consecuencia sobre las poblaciones, y en el mantenimiento de la biodiversidad. De forma de disminuir o evitar estos impactos, los aspectos de conectividad funcional de las especies deberían ser considerados desde el inicio en el diseño de las transformaciones del territorio, a través de la normativa de ordenamiento territorial, así como ser especialmente consideradas en las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) para elaborar medidas de mitigación de esos impactos. Estos aspectos permiten la incorporación de la persistencia de la biodiversidad como una

variable adicional en el ordenamiento territorial. Las áreas protegidas de la costa atlántica que tienen suelos urbanos y suburbanos constituyen un escenario clave donde llevar a cabo estas evaluaciones, dado que las EIA son de carácter obligatorio de acuerdo a la normativa.

5. Las áreas protegidas existentes pueden constituir las herramientas de conservación adecuadas para las tres especies de moluscos más vulnerables, ya que dentro de ellas cuentan con la superficie de hábitat suficiente para poblaciones viables. Para ello, las áreas protegidas deben asegurar la persistencia en superficie y calidad de dichos hábitat así como de la matriz que los rodea y que posibilita los flujos de individuos. Asimismo, las áreas protegidas presentan un rol central como estrategia de conservación de la conectividad de las restantes especies, por contener los parches de matorral y bosque de mayor relevancia para el mantenimiento de la conectividad global de la costa. No obstante, dado que dichas especies realizan movimientos a través de toda la costa para desplazarse entre parches de matorral y bosque, son necesarias otras estrategias de conservación complementarias a la gestión de áreas protegidas (Salafsky *et al.*, 2008), entre ellas las asociadas a normativas y políticas (como ser las normativas de ordenamiento territorial, el cumplimiento y ejecución de normas), así como las asociadas a incentivos económicos y estilos de vida, de forma de promover la coexistencia de usos antrópicos con poblaciones viables de estas especies. Estas estrategias son particularmente necesarias en los sitios de mayor relevancia identificados para mantener los flujos de individuos a lo largo de la costa atlántica, principalmente a nivel de las zonas donde se prevé el desarrollo de zonas urbanas y suburbanas. Es necesario elaborar estrategias de ordenamiento de dichas zonas que busquen disminuir los impactos sobre la conectividad de las especies.
6. Los resultados de la presente tesis constituyen un insumo de relevancia para una gestión del paisaje costero en permanente transformación, que busque disminuir o evitar los efectos negativos de la pérdida de hábitat sobre la biodiversidad. En particular, constituye un aporte para la identificación de sitios de especial importancia para la conservación, en el marco de áreas protegidas u otras estrategias, así como para la definición de medidas de restauración de aquellos parches de hábitat que pueden contribuir a incrementar la conectividad funcional para las especies prioritarias analizadas. Asimismo, los resultados

alcanzados son aplicables para otras especies no prioritarias que compartan atributos con las analizadas en la presente tesis.

## **Bibliografía**

Alonso Paz E. y Bassagoda M.J. 2002. La vegetación costera del SE uruguayo: ambientes y biodiversidad. Museo de Historia Natural y Antropología. Montevideo, Uruguay. 5:1-6.

Bartasaghi M.L. 2007. Análisis especial de las formaciones vegetales costeras Matorral y Bosque, de la zona El Caracol, Departamento de Rocha, Uruguay. Pasantía de Grado. Licenciatura en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 50pp.

Bender D.J. y Fahrig L. 2005. Matrix structure obscures the relationship between interpatch movement and patch size and isolation. *Ecology*, 86(4):1023-1033.

Bodin O. y Saura S. 2010. Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Modelling*, 221:2393–2405.

Borthagaray A.I., Arim M. y Marquet P.A. 2012. Connecting landscape structure and patterns in body size distributions. *Oikos*, 121:697 – 710.

Borthagaray A.I., Barreneche J.M., Abades S. y Arim M. 2014. Modularity along organism dispersal gradients challenges a prevailing view of abrupt transitions in animal landscape perception. *Ecography*, 37:564–571.

Borthagaray A.I., Berazategui M. y Arim M. 2015. Disentangling the effects of local and regional processes on biodiversity patterns through taxon-contingent metacommunity network analysis. *Oikos*.

Brás R., Cerdeira J.O., Alagador D. y Araújo M.B. 2013. Linking habitats for multiple species. *Environmental Modelling y Software*, 40:336-339

Brazeiro A., Achkar M., Bartasaghi L., Ceroni M., Aldabe J., Carreira S., Duarte A., González E., Haretche F., Loureiro M., Martínez J.A., Maneyro R., Serra S. y Zarucki M. 2012. Distribución potencial de especies de Uruguay: vertebrados y leñosas. Informe Técnico.

Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR. Montevideo. 47p.

Brazeiro A., Soutullo A. y Bartesaghi L. 2015. Identificación de prioridades de conservación por eco-región. En: Bases para la Planificación Eco-Regional de Uruguay. Ed. Brazeiro A. Montevideo. 125pp.

Bunn A.G., Urban D.L. y Keitt T.H. 2000. Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. *Journal of Environmental Management*, 59:265-278.

Calabrese J.M. y Fagan W.F. 2004. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(10):529–536.

Clavijo C. y Scarabino F. 2013. Moluscos continentales. Pp 73-90. En Soutullo A., Clavijo C. y Martínez-Lanfranco J.A. (eds.). Especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Vertebrados, moluscos continentales y plantas vasculares. DINAMA/MVOTMA - PNUD/GEF. Montevideo. 222pp.

Delfino L., Masciadri S. y Figueredo E. 2005. Registros de *Syderoxylon obtusifolium* (Roem. y Schult.) T.D. Penn. (Sapotaceae) en bosques psamófilos de la costa atlántica de Rocha, Uruguay. *Iheringia*, 60(2):129-133.

DINOT: Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial 2004. Plan de Ordenamiento y Desarrollo sustentable de la Costa Atlántica del Departamento de Rocha “Ordenanza Costera”. Texto del Decreto 12/2003 de la Junta Departamental de Rocha de setiembre de 2003. Artículos, notas y comentarios. DINOT-MVOTMA, dic. 2004. Montevideo. 72pp.

ESRI: Environmental Systems Research Institute 2010. ArcGIS 10. ArcMap Version 10.0. License Type ArcInfo. Copyright © 1999-2010 ESRI Inc.

Ewers R.M. y Didham R.K. 2006. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*, 81:117-142.

Fagan W.F. y Calabrese J.M. 2006 Quantifying connectivity: balancing metric performance with data requirements. En: *Connectivity Conservation*. Eds. Crooks K.R. y Sanjayan (2006). Cambridge University Press. p. 297-317.

Fahrig L. 2003. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34:487-515.

Fall A., Fortin M.J., Manseau M. Y O'Brien D. 2007. Spatial Graphs: Principles and Applications for Habitat Connectivity. *Ecosystems*, 10:448-461.

Ferrari J.R., Lookingbill T.R. y Neel M.C. 2007. Two measures of landscape-graph connectivity: assessment across gradients in area configuration. *Landscape Ecology*, 22:1315-1323.

Forman R.T.T. 1995. *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press. Cambridge. 632pp.

Gurrutxaga M. y Saura S. 2012. Análisis espacial de prioridades para fomentar la conectividad de la red Natura 2000. XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC, 19-21 de Septiembre de 2012

Haddad N.M., Brudvig L.A. Clobert J., Davies K.F., Gonzalez A. Holt R.D., Lovejoy T.E., Sexton J.O., Austin M.P., Collins C.D., Cook W.M., Damschen E.I., Ewers R.M., Foster B.L., Jenkins C.N., King A.J., Laurance W.F., Levey D.J., Margules C.R., Melbourne B.A., Nicholls A.O., Orrock J.L., Song DX y Townshend J.R. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052.

Hair Jr. J.F., Anderson R.E., Tathman R.L. y Black W.C. 1999. *Análisis Multivariante*. 5ª ed. Prentice Hall Iberia. Madrid. 832pp.

Hanski, I. 1999. *Metapopulation ecology*. – Oxford Univ. Press. Oxford. 313pp.

Harary F. 1969. *Graph theory*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA.

IDR: Intendencia Departamental de Rocha, 2010. *Plan Local de Ordenamiento Territorial Lagunas Costeras*. Departamento de Rocha. Julio 2010. 101pp.

IMMaldonado-ITU 2009. *Talleres Territoriales de Maldonado/Departamento*. Intendencia Municipal de Maldonado – Instituto de Teoría y Urbanismo.

Jenness J. 2011. *Conefor Inputs Tool v.1.0.162*. Jenness Enterprises. URL: <http://www.jennessent.com>

JDM: Junta Departamental de Maldonado, 2010a. Decreto 3866/2010. Decreto Reglamentario sobre disposiciones de suelos para el territorio del departamento: implementacion de la ley de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible, a nivel del departamento de Maldonado.

JDM: Junta Departamental de Maldonado, 2010b. Decreto 3867/2010. Decreto sobre disposiciones de ordenamiento territorial y categorización del suelo en el departamento de Maldonado: Directrices departamentales y microrregionales de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible.

Keitt T.H., Urban D.L. y Milne B.T. 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. *Conservation Ecology* 1:4 (online). URL: <http://www.consecol.org/Journal/vol1/iss1/art4>

Koen E.L., Garroway C.J., Wilson P.J. y Bowman J. 2010. The effect of map boundary on estimates of landscape resistance to animal movement. *PLoS ONE* 5(7):e11785.

Legrand C.D. 1959. Comunidades psamófilas de la Región de Carrasco (Uruguay). *Anuales del Museo de Historia Natural, Montevideo, Uruguay*. 7:1-75.

Linstone H.A. y Turoff M. 1975. *The Delphi method: Techniques and applications* (Vol. 29). Reading, MA: Addison-Wesley.

Leica Geosystems 2003. ERDAS IMAGINE 8.7. Leica Geosystems GIS & Mapping LLC.

MacArthur R.H. y Wilson E.O. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ,

Margules C.R., Nicholls A.O. y Usher M.B. 1994. Apparent species turnover, probability of extinction and the selection of nature reserves: a case study of the Ingleborough limestone pavements. *Conservation Biology*, 8:398–409.

McRae B.H. 2006. Isolation by resistance. *Evolution*, 60(8): 1551-1561.

McRae B.H. y Beier P. 2007. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal population. *PNAS*, 104(50):19885-10890.

McRae B., Shah V.B. y Mohapatra T.K. 2008. Circuitscape. Version 4.0.3. URL: <http://www.circuitscape.org/>

McRae B.H. y Shah V.B. 2009. Circuitscape User Guide. Online. The University of California, Santa Barbara. Available at: <http://www.circuitscape.org>.

McRae B.H, Shah V.B. y Mohapatra T.K. 2013. Circuitscape 4 User Guide. The Nature Conservancy.

Microsoft 2010. Bing Maps Aerial imagery web mapping service. Layer package for ArcGIS Desktop. URL: <http://www.bing.com/maps>

Minor E.S. y Urban D.L. 2007. Graph Theory as a proxy for Spatially Explicit Population Models in Conservation planning. *Ecological Applications*, 17(6):1771–1782.

Moilanen A. 2007. Landscape zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biological Conservation*, 134:571-579.

Moilanen A. 2011. On the limitations of graph-theoretic connectivity in spatial ecology and conservation. *Journal of Applied Ecology*, 48:1543-1547.

Moilanen A., Anderson B.J., Eigenbrod F., Heinemeyer A., Roy D.B., Gillings S., Armsworth P.R., Gaston K.J., y Thomas C.D. 2011. Balancing alter native land uses in conservation prioritization. *Ecological Applications*, 21(5):1419–1426.

Moilanen A., Veach V., Meller L., Montesino Pouzols F., Arponen A., & Kujala H. 2014. Zonation spatial conservation planning framework and software v. 4.0, User Manual. Helsinki, Finland.

MVOTMA-MGAP: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Base de datos de especies. URL: <http://www.snap.gub.uy/especies/>

PE: Poder Ejecutivo 2012. Avances en el análisis de localización. Montevideo 29 de mayo de 2012 (actualizado al 8 de agosto de 2012). URL: [http://medios.presidencia.gub.uy/jm\\_portal/2012/noticias/NO\\_E682/zona-  
implementacion2.pdf](http://medios.presidencia.gub.uy/jm_portal/2012/noticias/NO_E682/zona-implementacion2.pdf)

Pimm S.L. y Askins R.A. 1995. Forest losses predict bird extinctions in eastern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92:9343-9347.

PL: Poder Legislativo 1988. Ley N° 15.939. Ley Forestal. Publicada en el Diario Oficial 9 de febrero de 1988 - N° 22562. URL: <http://www.parlamento.gub.uy/leyes/AccesoTextoLey.asp?Ley=15939&Anchor=>

PL: Poder Legislativo 1994. Ley N° 16.466. Ley de Medio Ambiente. Publicada en el Diario Oficial el 26 de enero de 1994 - N° 23977. URL: <http://www.parlamento.gub.uy/leyes/AccesoTextoLey.asp?Ley=16466&Anchor=>

PL: Poder Legislativo 2000. Ley N° 17.234. Declarase de interés general la creación y gestión de un sistema nacional de áreas naturales protegidas, como instrumento de aplicación de las políticas y planes nacionales de protección ambiental. Publicada en el Diario Oficial 9 de marzo de 2000 - N° 25477. URL: <http://www.parlamento.gub.uy/leyes/AccesoTextoLey.asp?Ley=17234&Anchor=>

PL: Poder Legislativo 2008. Ley N° 18.308. Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible. Publicada en el Diario Oficial 30 de junio de 2008 - N° 27515. URL: <http://www.parlamento.gub.uy/leyes/ley18308.htm>

Pressey R.L., Cabeza M., Watts M.E., Cowling R.M. y Wilson K.A. 2007. Conservation planning in a changing world. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 22(11):583-592.

Rayfield B., Pelletier D., Dumitru I. M., Cardille J.A. y Gonzalez A. 2015. Multipurpose habitat networks for short-range and long-range connectivity: a new method combining graph and circuit connectivity. *Methods in Ecology and Evolution*, doi: 10.1111/2041-210X.12470

Ríos M., Bartesaghi L., Piñeiro V., Garay A., Mai P., Delfino L., Masciadri S., Alonso-Paz E., Bassagoda M.J. y Soutullo A. 2011. Caracterización y distribución espacial del bosque y matorral psamófilo. *MVOTMA*. Montevideo. 72pp.

Rodríguez J.P., Rodríguez-Clark K.M., Baillie J.E.M., Ash N., Benson J., Boucher T., Brown C., Burgess N.D., Collen B., Jennings M., Keith D.A., Nicholson E., Revenga C., Reyers B., Rouget M., Smith T., Spalding M., Taber A., Walpole M., Zager I. y Zamin T. 2011. Establishing IUCN Red List Criteria for Threatened Ecosystems. *Conservation Biology*, 25 (1):21–29.

Rose A. 2013. Systematic comparison of two habitat connectivity modeling approaches: least cost path and circuit theory. *Clemson University. Theses, TigerPrints*. Paper 1634. 173pp.

Rouse J., Hass R., Schell J., Deering D. y Harlan J. 1974. Monitoring the vernal advancement of natural vegetation. NASA/GSFC. Type III. Final report. Greenbelt. 371pp.

Rozenfeld A.F., Arnaud-Haond S., Hernández-García E., Eguíluz V.M., Serrao E.A. y Duarte C.M. 2008. Network analysis identifies weak and strong links in a metapopulation system. PNAS, 105(48):18824-18829.

Salafsky N., Salzer D., Stattersfield A.J., Hilton-Taylor C., Neugarten R., Butchart S.H.M., Collen B., Cox N., Master L.L., O'Connor S. y Wilkie D. 2008. A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. Conservation Biology, 22:897-911.

Sarkar S., Pressey R.L., Faith D.P., Margules C.R., Fuller T., Stoms D.M., Moffett A., Wilson K.A., Williams K.J., Williams P.H. y Andelman S. 2006. Biodiversity conservation planning tools: Present Status and Challenges for the Future. Annu. Rev. Environ. Resour., 31:123–159.

Saura S. y Pascual-Horta L. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. Landscape and urban Planning, 83:91-103.

Saura S. y Torné J. 2009. Conefor Sensinoide 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. Environmental Modelling y Software, 24:135-139.

Shah V.B. y McRae B.H. 2008. Circuitscape: A Tool for Landscape Ecology. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Python in Science Conference. Varoquaux G., Vaught T., y Millman J. (Eds.). pp: 62-66.

SIT-MVOTMA. Sistema de Información Territorial, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. URL: <http://sit.mvotma.gub.uy/shapefiles.htm>

SNAP-MVOTMA: Sistema Nacional de Áreas Protegidas - Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente 2015. Plan Estratégico 2015-2020. Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay. Montevideo, 66pp.

Soutullo A., Alonso E., Arrieta D., Beyhaut R., Carreira S., Clavijo C., Cravino J., Delfino L., Fabiano G., Fagundez C., Haretche F., Marchesi E., Passadore C., Rivas M., Scarabino F., Sosa B. y Vidal N. 2009. Especies Prioritarias para la Conservación en Uruguay 2009. Proyecto fortalecimiento del proceso de implementación del sistema nacional de áreas protegidas. DINAMA/MVOTMA -PNUD/GEF. Serie Documentos de Trabajo N°16. Montevideo. 95pp.

Soutullo A., Bartesaghi L., Berazategui P., Clavijo C., Díaz I., Faccio C., García M. Y González E.M. 2010. Diseño espacial del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay: sitios a integrar al sistema, prioridades de conservación en esos sitios y aportes a la protección de la biodiversidad fuera de áreas protegidas. DINAMA/MVOTMA -PNUD/GEF. Serie Documentos de Trabajo N°24. Montevideo. 50pp.

Soutullo A., Clavijo C. y Martínez-Lanfranco J.A. 2013. Especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Vertebrados, moluscos continentales y plantas vasculares. DINAMA/MVOTMA -PNUD/GEF. Montevideo. 222pp.

Suarez-Pirez C. y A. Soutullo. 2013. Actualización de los objetivos de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay. Componente continental y costero. Documento elaborado en el marco del proyecto “Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay” MVOTMA/DINAMA - PNUD/GEF (Proyecto URU/06/G34). 46pp.

Taylor P.D., Fahrig L., Henein K. y Merriam G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68:571–2.

Tischendorf L. y Fahrig L. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90:7-19.

Tucker C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8:127-150.

Urban D. y Keitt T. 2001. Landscape Connectivity: a Graph-Theoretic Perspective. *Ecology*, 82(5):1205-1218.

USGS: United States Geological Survey 2013. Using the USGS Landsat 8 Product. U.S. Department of the Interior. Page Contact Information: Ask Landsat. 9/08/13. URL: <http://landsat.usgs.gov>.

Vernberg F.J. y Vernberg W.B. 2001. The coastal zone: past, present, and future. University of South Carolina Press. Columbia, South Carolina. 191pp.

Weinberg H.J. y Roth R.R. 1998. Forest area and habitat quality for nesting Wood Thrushes. *The Auk*, 115(4):879–889.

## **Anexos**

### **Anexo I – Consulta a expertos**

#### **I.a. Lista de expertos consultados para la determinación de los atributos de las especies, por grupo taxonómico.**

Expertos del grupo de especies de Mamíferos:

- Enrique González
- Juan Andrés Martínez
- Ana Laura Rodales
- Daniel Hernández

Expertos del grupo de especies de Anfibios:

- Diego Arrieta
- Claudio Borteiro
- Gabriel Laufer
- Inés da Rosa

Expertos del grupo de especies de Reptiles:

- Santiago Carreira
- Claudio Borteiro
- Gabriel Laufer

Expertos del grupo de especies de Aves:

- Joaquín Aldabe
- Pablo Rocca
- Matilde Alfaro
- Gonzalo Cortéz
- Diego Caballero

Expertos del grupo de especies de Moluscos:

- Fabrizio Scarabino
- Cristhian Clavijo

## **I.b. Primera consulta**

A continuación se presenta a modo de ejemplo la primera consulta realizada al grupo de especialistas en Reptiles.

Consulta enmarcada en la Tesis de Posgrado de la Maestría en Ciencias Biológicas opción Ecología y Evolución de PEDECIBA: *Fragmentación y conectividad del paisaje costero atlántico para vertebrados prioritarios para la conservación.*

Lic. M. Lucía Bartesaghi Villardino

Orientadores: Dr. Alvaro Soutullo y Dr. Marcel Achkar

### **Resumen de la Tesis en desarrollo**

La pérdida y fragmentación de hábitat consecuencia de las actividades antrópicas constituyen de las principales causas de la disminución de la biodiversidad. La fragmentación de hábitat disminuye la conectividad del paisaje afectando negativamente la viabilidad de las poblaciones y la estructura de las comunidades. La conectividad del paisaje comprende la conectividad estructural (el grado en que los elementos del paisaje están físicamente unidos a otros) y la conectividad funcional (el grado en que el paisaje facilita el movimiento de las especies entre parches de recursos). La conectividad del paisaje depende de la configuración de los hábitats en el paisaje, la heterogeneidad en la calidad de hábitat y de la especie focal que se considere para evaluarla. Entender la conectividad en paisajes fragmentados es necesario para orientar la toma de decisiones en la gestión del territorio con el fin de disminuir o evitar efectos negativos de la pérdida de hábitat sobre la biodiversidad.

Los bosques y matorrales costeros constituyen formaciones vegetales leñosas de la costa atlántica y rioplatense de Uruguay, que representan hábitats de especial importancia para especies prioritarias para la conservación. Las alteraciones del paisaje costero generadas por diversas actividades antrópicas han fragmentado, reducido su extensión y modificado sus características. Asimismo, en el corto plazo se prevé una intensificación de las actividades antrópicas sobre el paisaje costero atlántico que posiblemente afectarán a estos parches de hábitat y la conectividad para las especies que los componen y frecuentan, generando consecuencias a escalas ecológicas superiores.

El presente proyecto tiene como objetivo general identificar los elementos de la configuración espacial del paisaje costero de mayor relevancia en el mantenimiento de la diversidad de vertebrados prioritarios para la conservación.

### **Presentación de la consulta**

La recopilación de datos referente a las especies (uso de hábitat y habilidad de movimiento a través de distintos tipos de cobertura vegetal) se realizará a través de consulta de bases de datos, consulta bibliográfica y consulta a especialistas. La consulta a especialistas se divide en dos etapas, una primera etapa (la presente consulta) de identificación de las especies prioritarias para la conservación que utilizan al bosque y matorral costero como hábitat e identificación de intensidad de uso como hábitat de otros ambientes, y una segunda consulta que abordará los aspectos de capacidad de movimiento de las especies a través de distintos ambientes.

### **Primera etapa**

A partir de la revisión de las bases de datos disponibles referentes a la distribución y uso de hábitat de especies de vertebrados terrestres prioritarios para la conservación (aves, anfibios, reptiles y mamíferos) se elaboró una lista preliminar de las especies que serán objeto de estudio en la presente tesis (Soutullo *et al.*, 2010; 2013; Brazeiro *et al.*, 2012). Los criterios de búsqueda para la selección de las especies fueron: prioridad para la conservación a nivel nacional, presencia en las cartas topográficas de la costa atlántica y utilización del matorral y bosque costero como hábitat.

La presente consulta se divide en 2 partes:

Verificación de las especies prioritarias para la conservación que utilizan al bosque y matorral costero como hábitat.

Definición de la intensidad de uso (considerando categorías) de los grandes tipos de ambientes de la matriz del paisaje.

### **I- Lista de especies prioritarias de reptiles que utilizan el matorral y bosque costero**

Dada la siguiente lista preliminar de reptiles se quiere:

1. confirmar el uso del matorral y/o bosque psamófilo como hábitat (ver la descripción adjunta de los ambientes). Además de confirmar su utilización se quiere identificar si el uso de hábitat de matorral y bosque psamófilo es indistinto. En tal sentido se generaron 4 categorías de uso de hábitat:

- matorral (M)
  - bosque (B)
  - matorral y bosque (MB)
  - ninguno
2. identificar si dichos tipos de vegetación, en caso de que los utilicen, constituyen su hábitat principal (P) o secundario (S)
  3. definir si existen otras especies de reptiles prioritarios para la conservación que se encuentren en la costa atlántica y utilicen el matorral y bosque costero como hábitat

Para abordar los puntos anteriores, le pedimos que indique en las dos columnas de la derecha de la siguiente tabla la utilización de hábitat detallada en los puntos 1 y 2. Si corresponde, complete las filas vacías que se encuentran al final de la tabla con aquellas especies prioritarias para la conservación que se han omitido y que a su criterio también utilizan el matorral y bosque costero de la costa atlántica.

Nombre científico de la especie	Nombre común	Uso de matorral y/o bosque como hábitat (Indicar con una <b>M</b> si sólo utilizan el matorral, con una <b>B</b> si sólo utilizan el bosque y <b>MB</b> si utilizan ambos tipos de vegetación. Dejar vacío si no utilizan ninguno de los dos)	Uso de matorral y bosque como hábitat (Indicar con una <b>P</b> si es el principal hábitat y con una <b>S</b> si es el hábitat secundario)
<i>Acanthochelys spixii</i>	tortuga de canaleta		
<i>Anisolepis undulatus</i>	lagartija arborícola		
<i>Cnemidophorus charrua</i>	lagartija de cabo polonio		
<i>Liolaemus occipitalis</i>			
...			

## 2-Intensidad de uso de otros ambientes de la matriz

Para identificar la probabilidad de movimiento entre distintos ambientes de la matriz del paisaje (resistencia del paisaje al movimiento o superficie de costo del paisaje) es necesario definir cuál es la intensidad de uso de los ambientes por las distintas especies.

Como ambientes de la matriz se consideran las siguientes 4 grandes categorías:

- arena
- pradera o humedal semipermanente
- humedal permanente o agua

- otros tipos de bosque nativo
- cultivos
- urbano o industrial
- forestación

En la siguiente tabla indique (utilizando el número que la identifica) cuál de las siguientes descripciones de categorías de hábitat se ajustan mejor a la relación entre la categoría ambiente y la especie:

una barrera (la especie nunca utiliza dichos ambientes)

el ambiente es evitado, pero en casos extremos la especie lo utiliza

el ambiente constituye un hábitat ocasionalmente utilizado por la especie

el ambiente es un hábitat frecuentemente utilizado por la especie

Especie	Arena	Pradera o humedal semipermanentes	humedal permanente o agua	Otros tipos de bosque	Cultivos	urbano o industrial	forestación

**Descripción de las formaciones vegetales de matorral y bosque costero** (Tomado de Bartesaghi L. 2007. Análisis espacial de las formaciones vegetales costeras Matorral y Bosque, de la zona El Caracol, Departamento de Rocha, Uruguay)

### **Matorral costero**

El Matorral espinoso costero es una comunidad arbustiva de fisonomía achaparrada y espinosa, de 0,5 -2 m de altura, que se desarrolla sobre suelos arenosos de la franja costera sometida a la acción de los vientos costeros. Está conformado por una matriz de *Colletia paradoxa* “espina de la cruz” y *Schinus engleri* “molle rastrero”.



### **Bosque costero**

Los Bosques costeros presentan un solo estrato arbóreo que varía entre 4 y 8 m de altura, acompañados de arbustos, hierbas, trepadoras y epífitas. Presentan fisonomía achaparrada y se ubican en la zona de lomadas costeras, al resguardo entre los médanos, en macizos de 1-10 ha o en parches aislados menores a 1 hectárea. Su composición de especies es semejante a la de los bosques serranos o de galería del Sur del País. Las especies características son: *Scutia buxifolia* “coronilla”, *Myrsine laetevirens* “canelón”, *Cereus uruguayanus*, *Lithraea brasiliensis* “aruera”, *Schinus longifolius* “molle”, *Zanthoxylum hyemale*



“tembetari” y *Daphnopsis racemosa* “envira”. Asimismo, se destaca la presencia de *Colletia paradoxa*, *Daphnopsis racemosa* y especies de cactáceas.



### **I.c. Devolución de primera consulta: ejemplo reptiles**

La presente instancia busca realizar una devolución de los resultados de la primera consulta con las respuestas de los tres especialistas que participaron del grupo de reptiles. Para algunas especies se obtuvieron respuestas distintas por parte de los especialistas, en tal sentido en esta instancia se quiere presentar sus respuestas junto a las del resto de los especialistas como instancia de chequeo para cerrar esta etapa.

### **I- Lista de especies prioritarias de reptiles que utilizan el matorral y bosque costero**

En la siguiente tabla se listan las especies que al menos uno de los tres especialistas indicó el uso del matorral psamófilo (M), bosque psamófilo (B) o ambos (MB) como hábitat. Asimismo, se incluyen otras especies incluidas por alguno de los especialistas que no se encontraban en la lista original (indicadas en azul). En las columnas se indica su respuesta y la de los otros especialistas.

Indique en los casilleros vacíos grises de las columnas “Revisión” si mantiene su respuesta o si quiere reconsiderarla a la luz de las respuestas de los otros especialistas. Incluir en esta revisión las especies nuevas indicadas en azul.

En verde se indican los puntos en los cuales no existe discrepancia entre los especialistas, y no es necesario que sean revisados. Con “-” se indican las especies que según el especialista no utilizaban ni matorral y bosque como hábitat.

especie	Uso de matorral (M), bosque (B) o ambos (MB) como hábitat				Intensidad de uso (P: principal, S: secundario)			
	Experto	2	3	Revisión	Experto	2	3	Revisión
<i>Anisolepis undulatus</i>	<b>MB</b>	B	B		<b>P</b>	P	P	
<i>Liolaemus occipitalis</i>	<b>M</b>	M	M		<b>S</b>	S	P	
...								

## 2-Intensidad de uso de otros ambientes de la matriz

La siguiente tabla presenta las respuestas recibidas en torno a la intensidad de uso de otros ambientes de la matriz. Indique en las celdas grises vacías de las filas “Revisión” si mantiene su respuesta o si quiere modificarla, respecto a cuál de las siguientes descripciones de categorías de hábitat se ajustan mejor a la relación entre la categoría ambiente y la especie:

una barrera (la especie nunca utiliza dichos ambientes)

el ambiente es evitado, pero en casos extremos la especie lo utiliza

el ambiente constituye un hábitat ocasionalmente utilizado por la especie

el ambiente es un hábitat frecuentemente utilizado por la especie

En verde se indican los puntos en los cuales no existe discrepancia entre los especialistas.

especie	Especialista	pradera o humedal semipermanente	arena	humedal permanente o agua	urbano o industrial	forestación	Cultivo	Otros bosque nativos
<i>Especie 1</i>	<b>Experto</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
	2	3	3	1	1	1	1	4
	3	3	3	1	1	2	2	4
	<b>Revisión</b>		<b>3</b>		<b>1</b>			<b>4</b>
<i>Especie 2</i>	<b>Experto</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	2	4	4	1	1	1	2	3
	3	4	4	1	2	2	2	3
	<b>Revisión</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>			<b>2</b>	<b>3</b>
...								

#### I.d. Segunda ronda de consulta a especialistas: distancia máxima de movimiento de las especies

La presente consulta busca definir para cada una de las especies de reptiles que utilizan el matorral y bosque costero atlántico como hábitat (de forma principal o secundaria), la distancia máxima que es esperable que un individuo pueda desplazarse en sus movimientos diarios desde un parche de hábitat favorable a otro (suponiendo, si es necesario, que se desplaza por ambientes favorables).

Si bien los datos de movimiento de las especies son generalmente desconocidos, en ausencia de dicha información se puede estimar la habilidad de movimiento como una distancia umbral máxima por encima de la cual las especies no podrán moverse entre parches de hábitat. En tal sentido, en la presente tesis se plantean situaciones teóricas de amplios rangos de máximo movimiento.

Se generaron los siguientes rangos de máximo movimiento entre parches de recursos a través de ambientes favorables, pero no preferidos por las especies (a modo de guía se señala la correspondencia entre el rango de distancia y el home range):

- **0 a 100 metros:** equivale a un home range de entre 0 y 3 hectáreas
- **100 a 500 metros:** equivale a un home range de 3 a 78 hectáreas
- **500 a 1000 metros:** equivale a un home range de 78 a 314 hectáreas (0,78 a 3,14 Km<sup>2</sup>)
- **1000 a 5000 metros:** equivale a un home range de 314 a 7854 hectáreas (3,14 a 78,54 Km<sup>2</sup>)
- **5000 a 20000 metros:** equivale a un home range de 7854 a 125664 hectáreas (78,54 a 1257 Km<sup>2</sup>)
- **Más de 20000 metros:** equivale a un home range superior a 125664 hectáreas (1257 Km<sup>2</sup>)

Para cada una de las especies listadas en la siguiente tabla, indique con una X el rango de movimiento máximo más probable de cada una. Como alternativa se indica a qué home range (HR) aproximado correspondería cada rango de distancia de movimiento.

Nombre científico de la especie	Rango de movimiento máximo entre parches de recursos					
	Entre 0 y 100 m	Entre 100 y 500 m	Entre 500 y 1000 m	Entre 1000 y 5000 m	Entre 5000 y 20000 m	Más de 20000 m
<i>Anisolepis undulatus</i>						
<i>Liolaemus occipitalis</i>						
...						

**Anexo II. Porcentaje de superficie por clase de cobertura del suelo del territorio analizado y del cuartil superior y el decil superior utilizado por el conjunto de las especies analizadas de acuerdo a los análisis de circuitos.**

Las flechas indican: “↑” las clases de cobertura que aumentan su porcentaje en el cuartil superior respecto al porcentaje en la cuenca, y “↓”, las clases de cobertura para los que disminuye el porcentaje. Se muestra el uso que hacen de los ambientes de la matriz las especies que usan el matorral y/o bosque costero como hábitat primario; para cada ambiente se indica el porcentaje de especies que nunca lo utiliza, lo evita, lo utiliza ocasionalmente, o lo usa frecuentemente.

Clase de cobertura del suelo	% de superficie en la cuenca	% de superficie en el cuartil superior de suma de circuitos	% de superficie en el decil superior de suma de circuitos	% de especies según intensidad de uso			
				Nunca	Lo evita	Ocasional	Frecuente
Matorral psamófilo	0.01	0.04 ↑	0.38 ↑	0	26	4	70
Bosque psamófilo	0.12	0.44 ↑	4.26 ↑	0	9	4	87
Arena	1.14	0.85 ↓	3.91 ↑	65	17	4	13
Océano	1.14	0.01 ↓	0.05 ↓	100	0	0	0
Urbano o industrial	1.69	0.57 ↓	0.62 ↓	39	43	13	4
Áreas descubiertas	3.26	0.4 ↓	0 ↓	100	0	0	0
Forestación	7.71	11.4 ↑	8.59 ↑	17	57	13	13
Bosque nativo	7.84	12.77 ↑	19.55 ↑	9	0	17	74
Cultivo y pradera artificial	12.60	2.02 ↓	1.54 ↓	43	48	9	0
Humedal permanente o agua	14.47	3.73 ↓	0 ↓	43	48	4	4
Pradera o humedal semipermanente	50.02	67.78 ↑	59.29 ↑	4	26	65	4
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-	-	-

**Anexo III – Lista de especies prioritarias para la conservación que utilizan el matorral y/o bosque costero como hábitat primario o secundario por grupo taxonómico, resultantes de la consulta a expertos.**

<b>Grupo Taxonómico</b>	<b>Familia</b>	<b>Nombre científico de la especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Uso de matorral y/o bosque</b>	<b>Uso primario o secundario</b>
<b>Anfibios (5 especies)</b>	Bufonidae	<i>Melanophryniscus montevidensis</i>	sapito de darwin	MB	Secundario
	Ceratophryidae	<i>Ceratophrys ornata</i>	escuerzo grande	M	Secundario
	Cycloramphidae	<i>Odontophrynus maisuma</i>	escuercito	M	Secundario
	Leiuperidae	<i>Pleurodema bibroni</i>	ranita de bibron	MB	Secundario
	Leptodactylidae	<i>Leptodactylus latrans</i>	rana común	MB	Secundario
<b>Reptiles (8 especies)</b>	Colubridae	<i>Boiruna maculata</i>	musurana	MB	Secundario
	Elapidae	<i>Micrurus altirostris</i>	coral	MB	Secundario
	Iguanidae	<i>Anisolepis undulatus</i>	lagartija arborícola	B	<b>Primario</b>
	Iguanidae	<i>Liolaemus occipitalis</i>	lagartija de la arena	M	Secundario
	Iguanidae	<i>Liolaemus wiegmanni</i>	lagartija de la arena de Wiegmann	M	Secundario
	Teiidae	<i>Salvator merianae</i>	lagarto	MB	<b>Primario</b>
	Viperidae	<i>Bothrops alternatus</i>	crucera	MB	Secundario
	Viperidae	<i>Bothrops pubescens</i>	yarará	MB	Secundario
<b>Mamíferos (13 especies)</b>	Canidae	<i>Cerdocyon thous</i>	zorro perro	MB	<b>Primario</b>
	Canidae	<i>Chrysocyon brachyurus</i>	aguaraguazú	MB	Secundario
	Canidae	<i>Lycalopex gymnocercus</i>	zorro gris	MB	Secundario
	Ctenomyidae	<i>Ctenomys pearsoni</i>	tucu tucu de pearson	MB	Secundario
	Dasypodidae	<i>Dasypus hybridus</i>	mulita	MB	Secundario
	Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	tatú	MB	<b>Primario</b>
	Didelphidae	<i>Cryptonanus cf. chacoensis</i>	marmosa	MB	Secundario
	Didelphidae	<i>Cryptonanus sp.</i>	marmosa	MB	Secundario
	Felidae	<i>Leopardus geoffroyi</i>	gato montés	MB	<b>Primario</b>
	Muridae	<i>Oxymycterus josei</i>	ratón hocicudo de José	MB	Secundario

	Muridae	<i>Oxymycterus nasutus</i>	ratón hocicudo	MB	Secundario
	Muridae	<i>Scapteromys tumidus</i>	rata de pajonal	MB	Secundario
	Vespertilionidae	<i>Myotis riparius</i>	murciélago negruzco	MB	Secundario
<b>Aves (27 especies)</b>	Cardinalinae	<i>Cyanoloxia glaucocaeerulea</i>	azulito	B	<b>Primario</b>
	Cardinalinae	<i>Saltator aurantirostris</i>	rey del bosque común	B	<b>Primario</b>
	Columbidae	<i>Columba maculosa</i>	paloma ala manchada	B	Secundario
	Columbidae	<i>Columba picazuro</i>	paloma de monte	B	Secundario
	Columbidae	<i>Zenaida auriculata</i>	torcaza	B	Secundario
	Emberizinae	<i>Donacospiza albifrons</i>	monterita cabeza gris	MB	Secundario
	Emberizinae	<i>Embernagra platensis</i>	verdón	MB	Secundario
	Emberizinae	<i>Paroaria coronata</i>	cardenal copete rojo	B	Secundario
	Emberizinae	<i>Poospiza lateralis</i>	monterita rabadilla roja	MB	<b>Primario</b>
	Emberizinae	<i>Poospiza melanoleuca</i>	monterita cabeza negra	MB	<b>Primario</b>
	Emberizinae	<i>Poospiza nigrofura</i>	Sietevestidos	MB	<b>Primario</b>
	Emberizinae	<i>Sicalis flaveola</i>	dorado	MB	Secundario
	Falconidae	<i>Falco peregrinus</i>	halcón peregrino	B	Secundario
	Furnariidae	<i>Lochmias nematura</i>	macuquiño	B	Secundario
	Icteridae	<i>Gnorimopsar chopi</i>	mirlo charrua	B	<b>Primario</b>
	Icteridae	<i>Icterus cayanensis</i>	boyerón	B	Secundario
	Mimidae	<i>Mimus saturninus</i>	calandria	MB	Secundario
	Picidae	<i>Melanerpes candidus</i>	carpintero blanco	B	<b>Primario</b>
	Psittacidae	<i>Myopsitta monachus</i>	cotorra	MB	Secundario
	Turdinae	<i>Turdus rufiventris</i>	zorzal común	MB	<b>Primario</b>
	Turdinae	<i>Turdus amaurochalinus</i>	sabiá	MB	<b>Primario</b>
	Thraupidae	<i>Sporophila caerulescens</i>	gargantillo	MB	Secundario
	Thraupinae	<i>Piranga flava</i>	fueguero	B	<b>Primario</b>
	Thraupinae	<i>Stephanophorus diadematus</i>	cardenal azul	MB	<b>Primario</b>
	Thraupinae	<i>Tangara preciosa</i>	achará	MB	<b>Primario</b>
	Thraupinae	<i>Thraupis bonariensis</i>	naranjero	MB	<b>Primario</b>
	Thraupinae	<i>Thraupis sayaca</i>	celestón	MB	<b>Primario</b>

<b>Moluscos (4 especies)</b>	Orthalicidae	<i>Bulimulus corderoi</i>	caracol terrestre	M	<b>Primario</b>
	Orthalicidae	<i>Bulimulus gorritiensis</i>	caracol terrestre	M	<b>Primario</b>
	Orthalicidae	<i>Drymaeus papyraceus papyrifactus</i>	caracol terrestre	MB	<b>Primario</b>
	Strophocheilidae	<i>Austroborus lutescens</i>	caracol terrestre	MB	<b>Primario</b>

**Anexo IV – Intensidad de uso de cada cobertura por especie cuyo hábitat principal lo constituye el matorral y/o bosque psamófilo.**

Valor 1- el ambiente es una barrera (la especie nunca utiliza dichos ambientes), Valor 2 - el ambiente es evitado, pero en casos extremos la especie lo utiliza, Valor 3 - el ambiente constituye un hábitat ocasionalmente utilizado por la especie y Valor 4 - el ambiente es un hábitat frecuentemente utilizado por la especie.

Especie (nombre científico)	Matorral psamófilo	Bosque psamófilo	Arena	Océano	Urbano o industrial	Áreas descubiertas	Forestación	Otro Bosque nativo	Cultivo y pradera artificial	Humedal permanente o agua	Pradera o humedal semipermanente
<b>Reptiles</b>											
<i>Anisolepis undulatus</i>	2	4	2	1	1	1	2	4	1	1	3
<i>Salvator merianae</i>	4	4	3	1	4	1	4	3	3	4	4
<b>Mamíferos</b>											
<i>Cerdocyon thous</i>	4	4	2	1	1	1	4	4	3	2	3
<i>Leopardus geoffroyi</i>	4	4	2	1	1	1	2	4	2	2	2
<i>Dasyus novemcinctus</i>	4	4	2	1	1	1	4	4	2	2	3
<b>Aves</b>											
<i>Turdus amaurochalinus</i>	4	4	1	1	3	1	3	4	2	1	3
<i>Turdus rufiventris</i>	4	4	1	1	3	1	3	4	2	1	3
<i>Gnorimopsar chopi</i>	2	4	1	1	2	1	2	4	1	1	3
<i>Melanerpes candidus</i>	2	4	1	1	2	1	3	3	1	1	2
<i>Cyanoloxia glaucocaeerulea</i>	2	4	1	1	1	1	2	4	2	1	2
<i>Piranga flava</i>	2	4	1	1	2	1	2	4	2	2	3
<i>Poospiza nigrofura</i>	4	4	1	1	2	1	2	3	2	3	3
<i>Saltator aurantiirostris</i>	2	4	1	1	2	1	2	4	2	2	3
<i>Poospiza lateralis</i>	4	4	1	1	2	1	2	4	2	2	3
<i>Poospiza melanoleuca</i>	4	4	1	1	2	1	2	4	2	2	3
<i>Stephanophorus diadematus</i>	4	4	1	1	2	1	2	4	1	2	3
<i>Tangara preciosa</i>	4	4	1	1	2	1	2	4	1	2	3
<i>Thraupis bonariensis</i>	4	4	1	1	3	1	2	4	2	2	3
<i>Thraupis sayaca</i>	4	4	1	1	2	1	2	4	1	2	3
<b>Moluscos</b>											
<i>Bulimulus corderoi</i>	4	2	4	1	1	1	1	1	1	1	2
<i>Bulimulus gorritiensis</i>	4	2	4	1	1	1	1	1	1	1	2
<i>Drymaeus papyraceus papyrifactus</i>	3	4	1	1	1	1	1	4	1	1	1
<i>Austroborus lutescens</i>	3	4	4	1	1	1	1	3	1	1	2

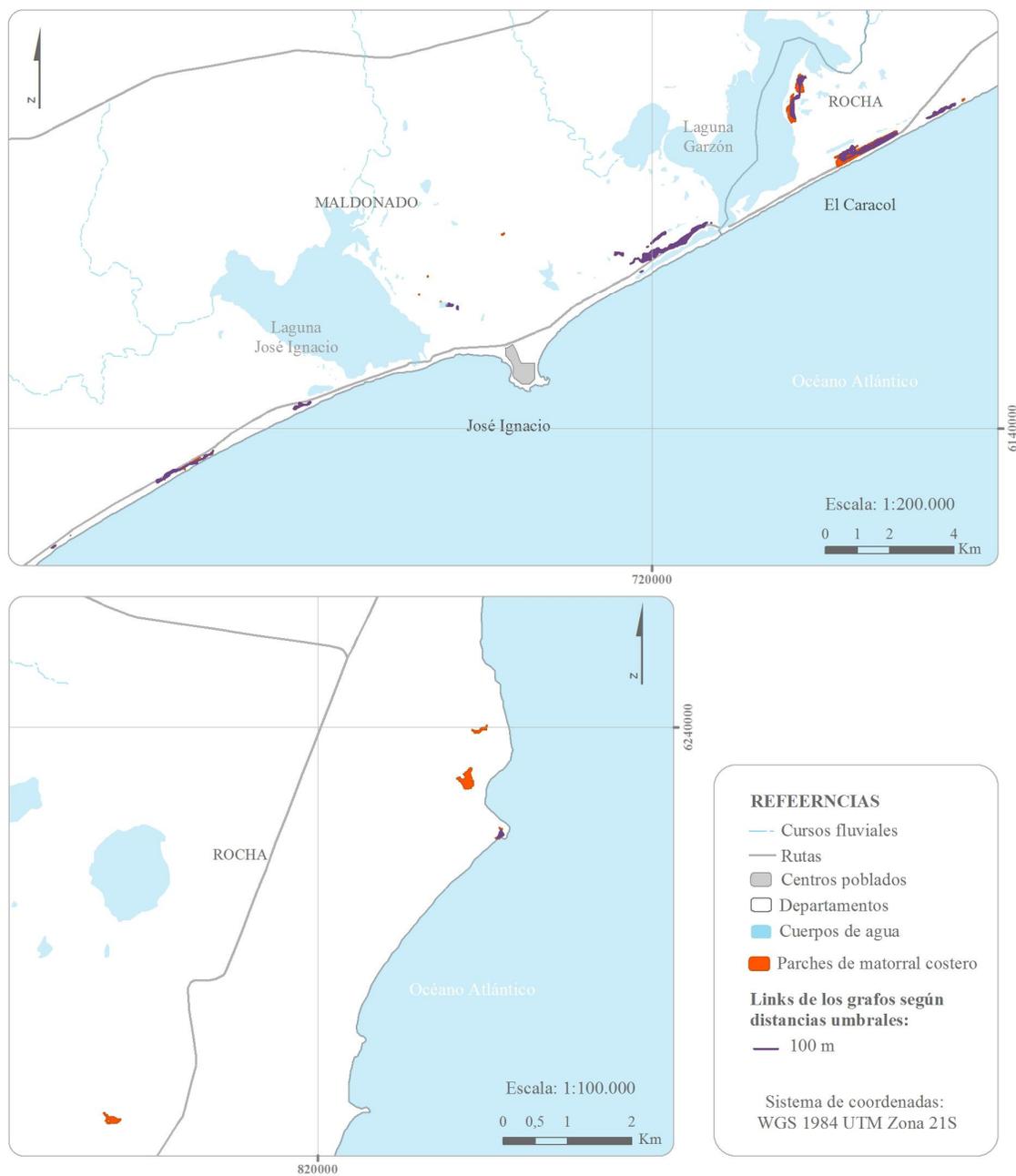
## Anexo V. Resultados de análisis de grafos espaciales

**V.a. Número de componentes (NC) y valor del índice de probabilidad de conectividad (PC) de los grafos por grupo de especie conformado por la combinación de hábitat y distancia máxima de movimiento.**

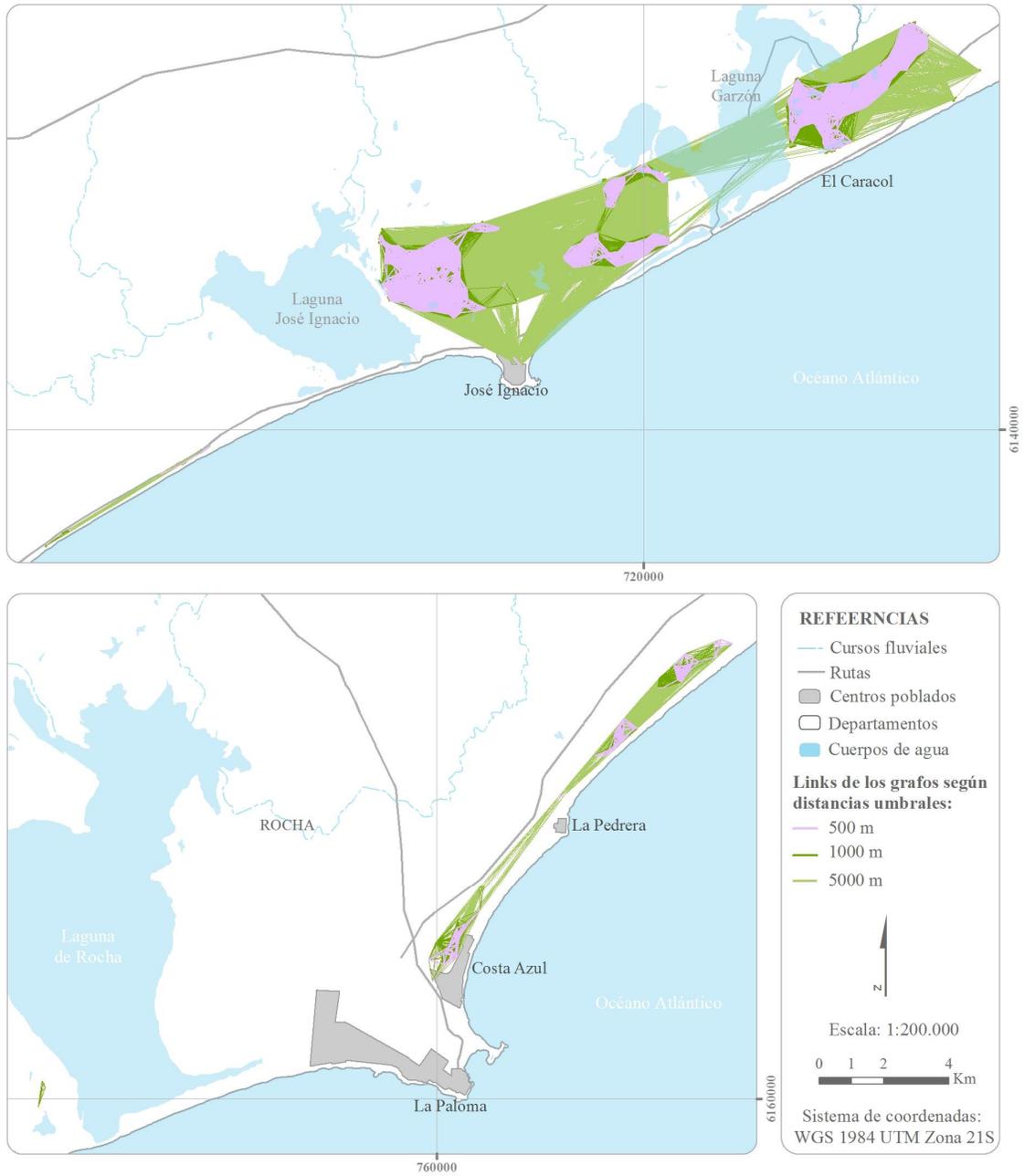
Valores más altos de NC y más bajos de PC indican que paisaje más fragmentados. En gris se indican los ocho grupos a los que fueron asignados alguna de las especies.

Hábitat	Distancia máxima de movimiento (en metros)											
	100		500		1000		5000		20000		50000	
	NC	PC	NC	PC	NC	PC	NC	PC	NC	PC	NC	PC
<b>Matorral</b>	24	8,5E <sub>-10</sub>	16	1,1E <sub>-9</sub>	10	1,2E <sub>-9</sub>	3	1,5E <sub>-9</sub>	2	2,2E <sub>-9</sub>	2	3,1E <sub>-9</sub>
<b>Bosque</b>	178	1,3E <sub>-8</sub>	44	3,2E <sub>-8</sub>	32	4,5E <sub>-8</sub>	7	7,6E <sub>-8</sub>	1	1,1E <sub>-7</sub>	1	2,0E <sub>-7</sub>
<b>Matorral y Bosque</b>	179	1,4E <sub>-8</sub>	45	3,5E <sub>-8</sub>	31	5,0E <sub>-8</sub>	6	9,2E <sub>-8</sub>	1	1,4E <sub>-7</sub>	1	2,5E <sub>-7</sub>

**V.b. Grafos conformados por los nodos de A: matorral y B1-B2: bosque, para cada distancia umbral.**



**A. Grafos conformados por los nodos de matorral psamófilo, según las distancias umbrales para las cuales alguna de las especies fue asignada.**



**B1. Grafos conformados por los nodos de bosque psamófilo, según las distancias umbrales para las cuales alguna de las especies fue asignada, para las zonas de Manantiales – El Caracol (arriba) y La Paloma – Punta Rubia (abajo).**



**B1. Grafos conformados por los nodos de bosque psamófilo, según las distancias umbrales para las cuales alguna de las especies fue asignada, para las zonas de Cabo Polonio – Aguas dulces (izquierda) y Santa Teresa – Cerro Verde (derecha).**

**Anexo V.c. Análisis de Componentes principales (ACP) de los 6 grupos de distancia de matorral y bosque costero.**

**Resumen del análisis:** El primer componente principal explica el 87% de la varianza.

Importance of components:	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
Standard deviation	2.2887725	0.73836626	0.4186149	0.185834268	0.0754657790	0.0294607928
Proportion of Variance	0.8730799	0.09086412	0.0292064	0.005755729	0.0009491806	0.0001446564
Cumulative Proportion	0.8730799	0.96394404	0.9931504	0.998906163	0.9998553436	1.0000000000

**Contribución de cada grupo al primer componente principal:**

	Comp.1
dPC_100	0.3894951
dPC_500	0.4037204
dPC_1000	0.4184155
dPC_5000	0.4264047
dPC_20000	0.4133777
dPC_50000	0.3969003