



Universidad de Concepción



**“CONSULTORÍA SOBRE INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA Y RIESGO DE
DESASTRES EN UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO, PARA LA PROVINCIA DE
CONCEPCIÓN”**

CAPÍTULO 3

COMPONENTE DE INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA

Concepción, 25 de marzo 2025

CONTENIDO

1. Antecedentes.....	1
2. Marco metodológico	4
2.1. Identificación de la propuesta Infraestructura Ecológica	5
2.1.1. Talleres participativos.....	5
2.1.2. Pilar I: Conectividad biológica	6
2.1.3. Pilar II: Biodiversidad	10
2.1.4. Pilar III: Cuantificación y mapeo de SSEE.....	13
2.2. Caracterización y propuesta de Infraestructura Ecológica: Proceso de priorización espacial	15
2.3. Establecer el potencial sinérgico entre biodiversidad y servicios ecosistémicos	16
3. Resultados.....	17
3.1. Identificación la propuesta de Infraestructura Ecológica	17
3.1.1. Resultados de los talleres participativos	17
3.1.2. Pilar I: Conectividad biológica	25
3.1.3. Pilar II: Biodiversidad	33
3.1.4. Pilar III: Servicios ecosistémicos.....	37
3.2. Caracterización y propuesta de Infraestructura Ecológica.....	40
3.3. Establecer el potencial sinérgico entre biodiversidad y los SSEE	45
4. Cambio climático.....	47
5. Conclusiones.....	47
6. Bibliografía	48
7. Anexos	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco metodológico de la etapa 2 para el desarrollo de una propuesta de Infraestructura Ecológica basada en tres pilares.....	5
Figura 2. Cada clase de uso de suelo posee diferentes capacidades para proveer servicios ecosistémicos. A partir de estos valores se cuantifica la capacidad del área de estudio para proveer SSEE mediante un enfoque espacialmente explícito.	15
Figura 3. Mapa conceptual a nivel de especie con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.	20
Figura 4. Mapa conceptual a nivel de ecosistema con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.	20
Figura 5. Mapa conceptual a nivel de comunidad con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.	21
Figura 6. Mapa conceptual a nivel de paisaje con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.	21
Figura 7. <i>Leopardus guigna</i> (<i>Gato güiña</i>).	25
Figura 8. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para <i>Leopardus guigna</i>	25
Figura 9. <i>Pudu puda</i> (<i>Pudú</i>).	26
Figura 10. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para <i>Pudu puda</i>	26
Figura 11. <i>Dromiciops gliroides</i> (<i>Monito del monte</i>).	27
Figura 12. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para <i>Dromiciops gliroides</i>	27
Figura 13. <i>Percilia irwini</i> (<i>Carmelita de Concepción</i>).	28
Figura 14. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para <i>Percilia irwini</i>	28
Figura 15. <i>Assio flameus</i> (<i>Nuco</i>).	29
Figura 16. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para <i>Assio flameus</i>	29
Figura 17. Superficie total de nodos por comuna.	30
Figura 18. Superficie total de corredores.	31
Figura 19. Modelo de conectividad multi-específico del área metropolitana. En verde oscuro se destacan los nodos de hábitat y en verde claro los corredores.	32
Figura 20a. Métricas espaciales de biodiversidad. De izquierda a derecha: Densidad de <i>Pitavia punctata</i> , Bosque nativo ponderado por tamaño, Densidad de <i>Haematopus palliatus</i> , Densidad de <i>Phoenicopiterus chilensis</i> , Densidad de <i>Phalacrocorax Gaimardii</i> , Densidad de <i>Myocastor coypus</i> , Densidad de <i>Aegla conceptionensis</i> , Hábitat de <i>Castnia audesmia</i>	34
Figura 21. Valores de biodiversidad. Áreas relevantes para la biodiversidad.	37
Figura 22. Modelos biofísicos de SSEE. De izquierda a derecha, arriba abajo: Agua superficial para beber, Regulación de la calidad del agua, Plantas cultivadas para fines nutricionales, Plantas silvestres para fines nutricionales, Potencial de recreación, Protección contra incendios, Regulación de la calidad del aire, Regulación termal, Control remoción en masa.	38
Figura 23. Mapa de provisión de múltiples servicios ecosistémicos.	39
Figura 24. Infraestructura ecológica propuesta. Se distinguen áreas núcleo o AVE en verde oscuro y corredores en verde claro. Versión actualizada.	41
Figura 25. Componentes de la IE y sus áreas subsidiarias. Este análisis fue desarrollado para la primera versión de IE.	43
Figura 26. Unión espacial entre áreas relevantes para la biodiversidad (Pilar II) y áreas de provisión de SSEE esenciales (Pilar III).	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies del Encuentro metropolitano preseleccionadas por expertos	7
Tabla 2. Rango hogar de las especies focales seleccionadas.....	8
Tabla 3. Puntos de ocurrencia de las especies en cada una de las variables de resistencia.....	9
Tabla 4. Rangos de dispersión por especie	9
Tabla 5. Criterios utilizados en el modelo de ERH para cada cobertura.	12
Tabla 6. Factores de estrés con sus distancias de amortiguamiento para el modelo.....	12
Tabla 7. Conceptos clave necesarios para comprender la Infraestructura Ecológica.	16
Tabla 8. Menciones del Encuentro metropolitano.....	18
Tabla 9. Frecuencia de criterios de biodiversidad asociados a los componentes de biodiversidad mencionados por los actores locales en el área metropolitana de Concepción. 1	19
Tabla 10. Criterios asociados a sus respectivos indicadores, frecuencia de mención y la ponderación para modelamiento.....	22
Tabla 11. Servicios ecosistémicos prioritarios a escala comunal. Los servicios en letra normal, mencionados en la totalidad de las mesas de cada evento en la comuna correspondiente. Los servicios en letra cursiva, mencionados en al menos el 80% de las mesas.	23
Tabla 12. Nodos por comuna y su superficie en ha.	30
Tabla 13. Cantidad de corredores y superficie por comuna.....	31
Tabla 14. AVE de la IE superiores a 200 ha.....	42
Tabla 15. Componentes de la IE identificados.....	43
Tabla 16. Superficie y porcentaje según grados de multifuncionalidad.....	45

1. ANTECEDENTES

El diseño y planificación de la Infraestructura Ecológica (IE) se realizó mediante enfoques integrados en el marco de Planificación Sistemática para la Conservación (PSC). Este último es un proceso estructurado de apoyo a la toma de decisiones pensado para identificar sitios prioritarios para intervenciones e implementaciones de manejo. A través de diferentes etapas, que van desde la compilación de datos de biodiversidad hasta la implementación de acciones, este proceso entrega herramientas para priorizar, de manera sistemática y espacialmente explícita (Kukkala & Moilanen, 2013). Su aplicación ha demostrado ser efectiva tanto en el contexto de la conservación de biodiversidad, como también en la identificación sitios prioritarios para la provisión de servicios ecosistémicos (SSEE) (Cimon-Morin et al., 2013). Específicamente, enmarcada en el contexto de la PSC, la priorización sistemática es uno de los procesos en los que ha sido utilizado para determinar zonas de alto valor de biodiversidad, mediante criterios contruidos a partir de indicadores cuantificables y espacialmente explícitos (Kukkala & Moilanen, 2013).

Principalmente, las aproximaciones de PSC han sido utilizadas para identificar sitios prioritarios para proteger la biodiversidad (Margules & Pressey, 2000). Sin embargo, la utilización de procesos de PSC enfocados en el marco de trabajo de SSEE ha incrementado (Villarreal-Rosas et al., 2020; Williams et al., 2020). De igual manera, experiencias han demostrado la plausibilidad de integrar ambos marcos (i.e. biodiversidad y SSEE) en contextos de planificación ecológica (Jato-Espino et al., 2023). Específicamente, en planificación de IE ambos marcos se han conjugado y retroalimentado para desarrollar herramientas de priorización de apoyo a la toma de decisiones a escalas gruesas (Liquete et al., 2015). Recientemente, se ha demostrado que la combinación de estos criterios en el diseño de una IE es un aporte para la multifuncionalidad de los paisajes (Wang, et al. 2020).

En este trabajo, para el desarrollo de la IE propuesta, se seguirá un esquema metodológico basado en tres enfoques fundamentales: conservación de la biodiversidad, mapeo y cuantificación de SSEE altamente demandados y la modelación de conectividad de múltiples especies. A partir de estos dos primeros enfoques, y mediante un proceso de priorización espacial de la PSC, se identificarán sitios de valor ecológico para el desarrollo de la IE del AMC. Adicionalmente, mediante el enfoque de modelamiento de conectividad multi-específico se definirán áreas de conectividad de la IE. En el desarrollo de la IE se usarán enfoques de participación para identificar SSEE altamente demandados y elementos de la biodiversidad valorados por las partes interesadas.

Priorización para la conservación de la biodiversidad

Los procesos de PSC se enfocan en entregar mecanismos para alcanzar determinadas metas de conservación de manera eficiente. Por ello, la PSC constituye un importante proceso relacionado estrechamente con contextos políticos y de toma de decisiones. Dentro de las diferentes etapas de la PSC, existe un componente fundamental enfocado explícitamente en priorizar y determinar qué elementos serán considerados para conservar y dónde están (Margules & Pressey, 2000). Para responder a esto, los análisis multi-criterio son comúnmente

utilizados en procesos de PSC. Específicamente, este tipo de aproximaciones permite identificar prioridades de conservación en base a múltiples indicadores cuantitativos y espaciales.

En particular, al momento de utilizar procesos de PSC enfocados en biodiversidad, se reconocen 12 diferentes criterios clave para la priorización espacial (Kukkala & Moilanen, 2013). Estos 12 criterios (adecuación, complementariedad, exhaustividad, eficacia, eficiencia, flexibilidad, irremplazabilidad, costo de sustitución, representación, representatividad, amenaza y vulnerabilidad) desempeñan un papel crucial a la hora de planificar, orientando las acciones de conservación y los procesos de toma de decisiones. Del mismo modo, proveen un marco de trabajo replicable para identificar elementos y áreas relevantes de biodiversidad y, al mismo tiempo, indicadores claros para evaluar la implementación de acciones de conservación.

Conectividad biológica

La conectividad puede definirse como el grado en que el paisaje afecta al movimiento de las especies (Forman 1995). La conectividad se compone de dos atributos: uno estructural, que se relaciona con la unión física de los elementos del paisaje; y otro funcional, que tiene relación con las especies y su movilidad. En particular, esta última se relaciona con el comportamiento de las especies en respuesta a la estructura del paisaje (Bennett 2003).

La integración de la conectividad funcional en procesos de planificación espacial permite conectar hábitats vitales para la conservación de la biodiversidad a gran escala, e incorporar varios niveles de organización ecológica en procesos de toma de decisión relacionados con la protección de áreas de alto valor ecológico (Cannas et al 2018). La identificación de corredores ecológicos en procesos de planificación espacial es fundamental para asegurar la conservación de funciones ecológicas en el largo plazo. Por tal razón, se ha visto un incremento en la incorporación de la conectividad como un criterio en los procesos de planificación sistemática para la conservación.

Servicios ecosistémicos

Actualmente, la cuantificación y el mapeo de SSEE ha llegado a ser una herramienta poderosa para entender la multifuncionalidad que pueden presentar los paisajes y contribuir a procesos de planificación territorial con objetivos de sustentabilidad. El mapeo de SSEE a escala regional o provincial permite al planificador caracterizar el territorio en paquetes (*bundles* de SSEE) o tipos de multifuncionalidad de IE. Esta caracterización permite proveer direcciones para una planificación espacial de IE, mediante la entrega de soluciones y estrategias de manejo del paisaje específicas y adaptadas a una escala local.

Por otra parte, en el diseño de paisajes sustentables, las acciones de manejo deben orientarse a aumentar la capacidad de los territorios en proveer múltiples SSEE que sean demandados por los habitantes del paisaje. Esto cobra especial relevancia considerando servicios de regulación relacionados a la mitigación de riesgo de desastres. Con esto, integrar el marco de trabajo de los SSEE en un proceso de PSC es un paso crucial para aproximarse a la sustentabilidad del paisaje. De igual manera, en el marco de la sustentabilidad del paisaje, el vínculo entre biodiversidad y servicios ecosistémicos es una de las relaciones que debe ser abordada.

El nexo entre biodiversidad y SSEE es una relación que ha sido ampliamente estudiada (Balvanera et al., 2013). Si bien, es ampliamente reconocido que existen relaciones entre ambos conceptos, no se conocen completamente los mecanismos que operan en este vínculo (Harrison et al., 2014; Mace, Norris, & Fitter, 2012). Por otra parte, si hay consenso en afirmar que existen relaciones espaciales entre biodiversidad y la provisión de SSEE (Egoh et al., 2009). De igual manera, existen trabajos que documentan una positiva relación (sinergia) entre sitios relevantes en términos de biodiversidad con SSEE de regulación (Esquivel et al., 2020; Haines-Young & Potschin, 2010; Harrison et al., 2014). Estas sinergias se manifiestan espacialmente y justifican la relevancia de combinar ambos marcos de trabajo en contextos de priorización a través de herramientas espacialmente explícitas.

Sistema de apoyo a la decisión espacialmente explícita

Bajo el contexto de planificación territorial, cambio ambiental global y manejo de recursos naturales, la demanda de sistemas de apoyo a la decisión espacialmente explícitos ha aumentado (Vacik et al., 2015). Estos sistemas apoyan a los responsables de la toma de decisiones a analizar y resolver problemas al integrar diversas dimensiones de estudio bajo tres principales componentes: un subsistema de diálogo, un subsistema de base de datos y un subsistema de base de modelos (Vacik et al., 2015; Watson & Sprague, 1993).

Los Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) espacialmente explícita suelen basarse en la investigación inter y transdisciplinar para mejorar la comprensión de las dinámicas espaciotemporales multisectoriales y multiescalares que subyacen a las relaciones naturaleza-sociedad (Bateman et al., 2013; Posner et al., 2016). Además, el uso de herramientas o software permite la evaluación de problemas críticos a los que la sociedad espera enfrentarse en las próximas décadas relacionados con los impactos del cambio climático y el aumento de las presiones antropogénicas (Vacik et al., 2015).

Particularmente, GISCAM es una plataforma de software que permite la evaluación integrada de SSEE bajo escenarios de influencia ambiental y reglas de planificación (Fürst et al., 2011)

. Esta herramienta se ha utilizado para modelar la dinámica espaciotemporal de los SSEE en Europa con el fin de identificar estrategias para evitar compensaciones entre los SSEE y contribuir a la integridad ecológica de los ecosistemas adaptados al cambio climático (Frank et al., 2015; Fürst et al., 2013; Koo et al., 2019). Desde un punto de vista interdisciplinar, este tipo de enfoques de modelamiento integrados son útiles para responder a cómo la planificación del paisaje afecta a las relaciones entre el patrón del paisaje y SSEE y para fundamentar la formulación de políticas mediante la evaluación del pasado y la orientación del futuro (Wu, 2021).

Planificación sistemática y aproximaciones participativas

La planificación sistemática de la conservación constituye un marco que se ha desarrollado para la toma de decisiones en cuanto a la conservación de la biodiversidad y la simultánea incorporación de otros valores naturales, así como de algunos objetivos sociopolíticos (Margules & Pressey, 2000). En casi todas las circunstancias, la conservación de la biodiversidad no es el único criterio que destaca en un paisaje. Otros posibles usos incluyen la

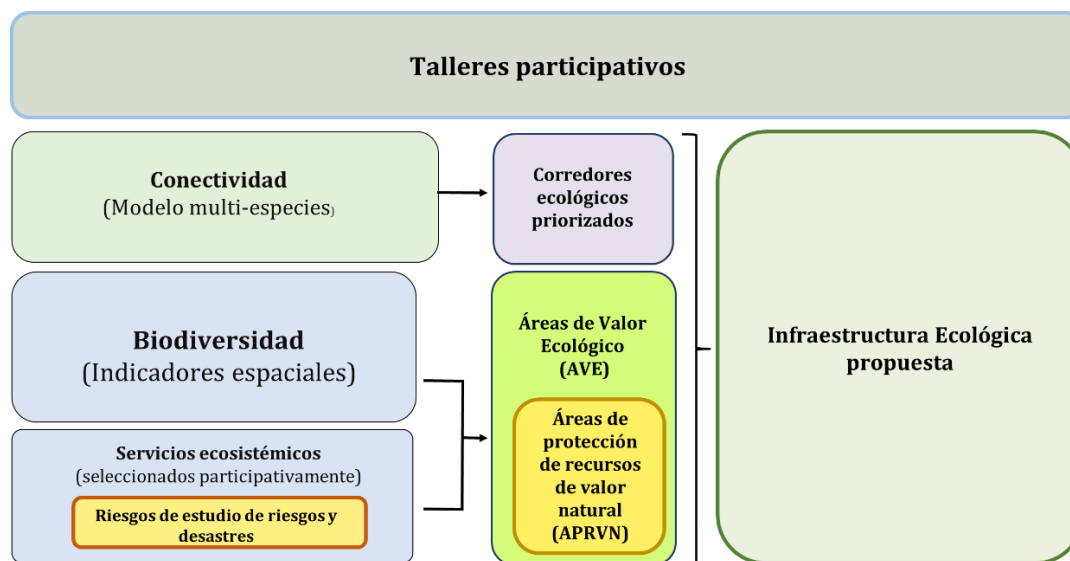
vivienda humana y la recreación, así como la producción (incluida la agricultura, la piscicultura y la extracción de recursos minerales). Los intereses humanos son particularmente importantes cuando la identificación de áreas priorizadas por su alto valor ecológico también está vinculada al bienestar de las personas. La incorporación de estos objetivos, a menudo divergentes, en un marco conceptual y normativo coherente es el objetivo de la gestión integral del territorio (Sarkar et al., 2010).

La planificación sistemática de la conservación se ha aplicado como un enfoque riguroso y transparente para informar soluciones para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos por parte de organizaciones conservacionistas privadas y gubernamentales a nivel mundial (Villarreal-Rosas et al., 2020), como marco teórico en el desarrollo de infraestructura ecológica (Liquete et al., 2015). En este desarrollo, la toma de decisiones es alimentada por la participación ciudadana a través de metodologías participativas. En estas instancias, los actores locales definidos a partir del mapeo previo son convocados a talleres participativos que aportarán información para responder y alimentar la toma de decisiones que requieren las distintas etapas del proyecto.

2. MARCO METODOLÓGICO

La segunda etapa del proyecto tiene como principal objetivo desarrollar la propuesta de Infraestructura Ecológica para el área de estudio. Siguiendo los recientes enfoques propuestos para el diseño y planificación de IE a escala de paisaje (Cannas et al., 2018; Liquete et al., 2015; Wang et al., 2021), en el presente estudio se desarrolló una IE sobre la base de tres componentes o pilares fundamentales: (i) áreas prioritarias de conectividad (basado en múltiples especies focales) (ii) áreas de alto valor de biodiversidad (especies y ecosistemas) y (iii) áreas de alta provisión de SSEE (aprovisionamiento, regulación y cultural). La unión espacial de las áreas de alto valor de biodiversidad con las áreas de alta provisión de SSEE constituyó las áreas de multifuncionalidad. Con esto, la unión de los pilares (ii) y (iii) consolida las áreas de multifuncionalidad y establece el potencial sinérgico entre biodiversidad y SSEE. Luego, la unión de estas zonas con las áreas de conectividad formó las Áreas de Valor Ecológico de la IE. Por otro lado, los corredores ecológicos priorizados que resultaron del modelo de conectividad multi-especie constituyeron las áreas prioritarias de conectividad de la IE. Cada uno de los pilares fundamentales llevó asociado un exhaustivo trabajo de participación, correspondiente a diferentes jornadas de consulta a públicos diversos, entre ellos, representantes de la sociedad civil, actores públicos y del mundo privado. Estos actores identificaron, por un lado, los servicios ecosistémicos más demandados y, por otra parte, los elementos de la biodiversidad más relevantes para los habitantes del área de estudio.

Figura 1. Marco metodológico de la etapa 2 para el desarrollo de una propuesta de Infraestructura Ecológica basada en tres pilares.



2.1. IDENTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA

2.1.1. Talleres participativos

La aproximación participativa fue fundamental para darle sentido teórico y práctico al diseño de la IE. Por un lado, en términos teóricos, cumple con un argumento crítico para la ciencia sustentabilidad del paisaje: la condición de ser una ciencia basada en el lugar (*place-based*) y, por tanto, la consideración de servicios ecosistémicos paisaje-específicos. Es decir, los servicios ecosistémicos más demandados por los habitantes del área de estudio. Por otro lado, en un sentido práctico, porque el enfoque participativo permite el diseño de una herramienta de planificación co-construida con actores territoriales y, fomentando la equidad territorial y vinculando a la comunidad en la toma de decisiones.

En este estudio se desarrollaron 11 talleres participativos con diferentes tipos de actores. De estos talleres, cuatro encuentros fueron comunales (Florida, Hualqui, Lota, Santa Juana), cuatro bicomunales (CCP-Chiguayante, San Pedro-Coronel, Talcahuano - Hualpén, Penco-Tomé), un encuentro con actores privados (general), un encuentro sector forestal. Estos encuentros fueron desarrollados para dar a conocer la metodología del proyecto y con el principal objetivo de identificar los servicios ecosistémicos más demandados por actores territoriales de la comuna. En cada taller, se realizó una presentación del marco metodológico y se establecieron mesas de trabajo, moderadas por dos personas, para desarrollar un mapeo participativo con cartografías focalizadas en una escala comunal. En la actividad se hicieron las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los beneficios potenciales de la naturaleza o el medio ambiente que **no ocurren** en su comuna? / ¿Cómo le afecta esto a usted?
- ¿Dónde faltan esos beneficios en su comuna?

- ¿Dónde o para quiénes **sí ocurren** estos beneficios?

Para el análisis de los servicios ecosistémicos se utilizó la Clasificación Internacional de Servicios Ecosistémicos (CICES), la cual usa una estructura de niveles, con grandes grupos (División), los cuales se subdividen en Grupos y estos grupos en Clases, más conocidos como los servicios finales. La contabilización de servicios se realizó en la mayoría de los casos, en este último nivel (clase), por ser el nivel más específico e individual. También se contabilizaron algunos a nivel superior (grupo), en aquellos casos que no fue posible distinguir servicios individuales en las respuestas.

Se registraron las menciones de cada integrante de la mesa para realizar un análisis de frecuencia, que más adelante fue utilizado para jerarquizar los servicios y determinar ponderaciones al momento de la modelación espacial de todos los servicios. De igual manera, se calculó la representatividad de cada servicio en el total de las mesas, es decir, la cantidad de veces que fue mencionado en diferentes mesas. De este modo, para la modelación se seleccionaron los servicios ecosistémicos más representativos a escala metropolitana. Más detalles de la selección y las ponderaciones en la sección (1.4) *Pilar III: Servicios ecosistémicos*.

Por otro lado, se desarrolló un Encuentro metropolitano, destinado específicamente a identificar elementos de la biodiversidad más valorados por organizaciones del área metropolitana de Concepción ligadas a temáticas ambientales. La metodología también consistió en mesas de trabajo con cartografías participativas del área metropolitana. Al igual que en el caso de los servicios, se realizaron análisis de frecuencias (cantidad de menciones) de los diferentes elementos para determinar aquellos más mencionados y, más adelante, calcular las ponderaciones de espacialización. Todas las respuestas fueron tabuladas en función de los niveles jerárquicos y criterios de planificación sistemática. La información participativa del Encuentro metropolitano tributó directamente a: Conectividad biológica, con la identificación de especies objetivo y Biodiversidad, con la identificación de los elementos de la biodiversidad relevantes para ser modelados. Todos los elementos de la biodiversidad fueron traducidos a métricas espaciales, mediante criterios e indicadores explicados más adelante.

2.1.2. Pilar I: Conectividad biológica

Identificación y selección de especies focales

Un corredor ecológico es una estructura del paisaje que facilita la movilidad de uno, o varios organismos a través de un paisaje fragmentado. Desde un punto de vista estructural, un corredor es una estructura que conecta fragmentos de hábitat. Desde un punto funcional, el concepto de hábitat y el grado de movilidad está dado por la naturaleza y el comportamiento de una especie. Por tanto, el diseño y la planificación de corredores ecológicos en un paisaje depende irrestrictamente de la o las especies que se seleccionen en el área de estudio.

Para definir las áreas de conectividad se siguieron principios, procedimientos y estrategias de literatura especializada. Se aplicó un enfoque de modelado multi-especie focal y se utilizó una combinación de métodos que incluyen la ruta de movimiento de menor costo, la teoría de circuitos y la teoría de gráficos. Este enfoque se centró en el diseño de corredores que

representen parches de hábitat de múltiples especies focales, teniendo en cuenta diversos procesos ecológicos y la sensibilidad a las barreras.

A partir del Encuentro metropolitano de biodiversidad, se generó un listado preliminar de todas las especies que fueron mencionadas en la jornada participativa. Posteriormente, se realizó una consulta a 13 expertos que incluyeron otras especies adicionales que consideraron relevantes para el modelo (listado de expertos en el Anexo A), basándose en los 4 criterios que se recomiendan en la literatura (CorridorsDesign.Org):

- Sensibilidad a la matriz: probabilidad de que la especie se mueva o permanezca en la matriz. En este caso dominado por plantaciones forestales exóticas (Provincia de Concepción).
- Especialista de hábitat: La especie necesita franjas continuas de un solo tipo de cobertura de suelo.
- Dispersión limitada: Las distancias de dispersión de la especie son pequeñas o están determinadas por el tipo de hábitat
- Sensibilidad a las barreras: capacidad de las especies para moverse a través barreras tales como caminos, carreteras, ríos, entre otros.

El listado final contempló 19 especies (**Tabla 1**) agrupadas según el tipo de fauna (Mamíferos, Anfibios, Reptiles, Ictiofauna, Peces, Aves).

Tabla 1. Especies del Encuentro metropolitano preseleccionadas por expertos.

Especie		Grupo
Nombre común	Nombre Científico	
Siete Colores	<i>Tachuris rubrigastra</i>	Aves de humedal
Trabajador	<i>Phleocryptes melanops</i>	
Flamenco	<i>Phoenicopterus chilensis</i>	
Nuco	<i>Asio flammeus</i>	Fauna acuática
Cangrejo Tigre	<i>Aegla conceptionensis</i>	
Carmelita de Concepción	<i>Percilia irwini</i>	
Mariposa del Chagual	<i>Castnia eudesmia</i>	Insectos
Abejorro Chileno	<i>Bombus dahlbomii</i>	
Madre de la Culebra	<i>Acanthinodera cummingii</i>	
Monito del monte	<i>Dromiciops gliroides</i>	Mamíferos terrestres
Pudú	<i>Pudu puda</i>	
Guiña	<i>Leopardus guigna</i>	
Quique	<i>Galictis cuja</i>	
Coipo	<i>Myocastor coypus</i>	
Zorro Culpeo	<i>Lycalopex culpaeus</i>	
Puma	<i>Puma concolor</i>	
Rana Chilena	<i>Calyptocephalella gayi</i>	Anfibios y Reptiles
Sapo Rosado	<i>Eupsophus roseus</i>	
Gruñidor del Sur	<i>Pristidactylus torquatus</i>	

De las 19 especies presentes en la tabla, luego de consultar a expertos, se realizó una selección final de 5, las que fueron trabajadas como especies focales en los modelos de conectividad. Los criterios para la selección de estas especies fueron su importancia ecológica, tipo de dispersión, la importancia de la conectividad en su persistencia y la cantidad de información disponible para dichas especies.

- *Leopardus guigna* (Guiña)
- *Pudu puda* (Pudú)
- *Dromiciops gliroides* (Monito del monte)
- *Percilia irwini* (Carmelita de Concepción)
- *Asio flammeus* (Nuco)

Diseño de un modelo para la conectividad multi-especie

Para diseñar el modelo de conectividad multiespecífico se elaboraron, para cada una de las cinco especies, dos tipos de archivos espaciales: (i) mapas de nodos o hábitats núcleos y (ii) mapas de resistencia al movimiento. Los nodos constituyen áreas situables ara el mapa de resistencia, por su parte, representa el costo energético, la dificultad o el riesgo de mortalidad de una especie al moverse a través de cada celda, teniendo en cuenta factores como la topografía, la cobertura del suelo y la proximidad a áreas urbanas y carreteras pavimentadas (McRae & Kavanagh, 2021; Zeller et al., 2012).

Para generar el modelo de conectividad se empleó el software ArcGIS 10.8 en conjunto de la herramienta Circuitscape (Shah & McRae, 2008). Se utilizó como input un archivo ráster de coberturas y usos del suelo de la Provincia de Concepción al año 2023, desarrollado por el Laboratorio de Ecología del Paisaje de la Universidad de Concepción en la etapa anterior. En conjunto con otros rústers que contienen información relacionada a factores influyentes en el desplazamiento de la especie, se generaron ambos tipos de archivos espaciales (nodos y resistencia). Ambos mapas son necesarios para elaborar un modelo de conectividad según la teoría de circuito (McRae & Beier, 2007).

La definición de los nodos es fundamental para modelar la conectividad, ya que en estos se considera que existen casi todas las comunidades, especies y demás recursos naturales de interés para la conservación (Zuluaga et al., 2017). En este caso, la selección de nodos se hizo mediante la consulta a 11 expertos y fue complementada con información proveniente de la literatura. Para esto fue necesario conocer el tipo de cobertura idónea y el rango de hábitat de cada especie (**Tabla 2**).

Tabla 2. Rango hogar de las especies focales seleccionadas.

Especie Focal	Rango de hogar
Guiña	Parches de Bosque nativo > a 20 ha
Pudú	Parches de Bosque nativo > a 10 ha
Monito del monte	Parches de Bosque nativo > a 3 ha
Carmelita de Concepción	Confluencias entre ríos y esteros
Nuco	Humedales > a 200 ha

Por otro lado, la matriz de resistencia se define como la oposición de la matriz al desplazamiento de los organismos al transitar en un paisaje, debido a la dificultad o facilidad de movimiento en diferentes áreas, según esto se les asigna mayor resistencia a los tipos de coberturas menos permeables y más obstaculizadas (McRae et al., 2008). En este caso de estudio las variables contempladas para determinar la matriz de resistencia de las especies terrestres fueron:

- Coberturas y usos de suelo
- Distancia a caminos
- Distancia a poblados
- Distancia a cuerpos de agua

Para la especie “Carmelita de Concepción”, se utilizaron solo las dos primeras variables, ya que su desplazamiento está dado exclusivamente a través de cuerpos de agua.

Se utilizó el enfoque empírico de una sola etapa (descrito por Zeller et. al 2012) para determinar los valores de resistencia de cada variable, el cual contempla los puntos de ocurrencia por especie según cada variable numerada más arriba. Estos puntos de ocurrencia se basaron en los registros de cámaras trampa de tres monitoreos realizados dentro del área de estudio (Parque Nacional Nonguen, ONG Pewma y Campus Naturaleza) en los últimos seis años.

Finalmente, mediante una suma ponderada se unió cada una de las variables generándose una sola matriz de resistencia para cada una de las especies (**Tabla 3**)

Tabla 3. Puntos de ocurrencia de las especies en cada una de las variables de resistencia.

Nombre común	Coberturas y uso de suelo	Distancia vial	Distancia poblados	Distancia cuerpos de agua
Guiña	30	11	24	35
Pudú	29	15	26	30
Monito del monte	27	13	28	32
Nuco	60	20	20	-
Carmelita de Concepción	85	15	-	-

Del mismo modo, mediante consulta a expertos se determinaron los rangos de dispersión de cada especie se obtuvieron por consulta a expertos y en algunos casos, fueron recopilados desde otros casos de estudios (**Tabla 4**).

Tabla 4. Rangos de dispersión por especie

Especie Focal	Rango de dispersión
Guiña	7 km
Pudú	5 km
Monito del monte	1.5 km
Carmelita de Concepción	30 km
Nuco	20 km

Modelos de conectividad uni y multi-especie

En este caso de estudio, los modelos a utilizar fueron las rutas de menor costo y la teoría de circuitos. El primero de estos consiste en identificar el camino con la distancia de costo más baja entre todos los caminos posibles que unen fuentes y destinos predefinidos (Etherington, 2016), en este caso los nodos. Mientras que, en la teoría de circuitos, los nodos eléctricos de un circuito se utilizan para representar fragmentos de hábitat, y las resistencias que los conectan indican conexiones funcionales como la dispersión (McRae et al., 2008). Se generaron cinco modelos para cada una de las especies focales, obteniéndose distintas métricas de evaluación tales como, rutas de menor costo, centralidad de nodos, potenciales corredores y componentes. Para generar el modelo de conectividad multi-especie se unieron las rutas de menor costo con un buffer de 250 m hacia cada lado, en esta unión se contemplaron en su totalidad los nodos y corredores de 3 especies, Nuco como especie residente de humedales, Carmelita de Concepción como especie acuática y Guiña como el mamífero terrestre con mayores requerimientos en cuanto a superficie, figurando como especie paraguas del resto de los mamíferos terrestres. En cuanto a los modelos de Pudú y Monito del monte, se seleccionaron aquellos nodos y corredores que aumentaban la extensividad de los componentes resultantes del modelo de Guiña.

A partir de la unión de los corredores individuales resultantes de los modelos de conectividad de cada especie, se obtuvo el modelo de conectividad multi-especie. Este modelo se compone de (i) Nodos de conectividad, correspondiente al hábitat núcleo para cada especie estudiada y (ii) corredores, correspondientes a las estructuras que conectan el hábitat. De este modo áreas prioritarias de conectividad correspondieron a los nodos de hábitat idóneas de múltiples especies con los mayores valores de centralidad. Estas áreas prioritarias de conectividad fueron sobrepuestas a las áreas de multifuncionalidad (Pilar II y III) para formar las Áreas de Valor Ecológico (AVE).

2.1.3. Pilar II: Biodiversidad

Identificación de elementos esenciales y ponderaciones

Los datos del Encuentro metropolitano de biodiversidad fueron procesados en función la frecuencia de menciones. Se identificaron los componentes de la biodiversidad, su ubicación y la relevancia de conservación. Se identificó el nivel jerárquico de cada componente de la biodiversidad para generar un mapa conceptual de priorización en el cual se establecieron prioridades de conservación. Este esquema conceptual es una traducción ecológica de los componentes identificados por los actores.

En total se identificaron 137 componentes nombrados, para los cuales se establecieron 3 niveles de priorización: a) El primer nivel, que se compone de los niveles jerárquicos de la biodiversidad (Paisaje, ecosistema, comunidad y especies) b) Segundo nivel, compuesto por los atributos de la biodiversidad para el nivel anterior (Composición y Funcionalidad) c) Tercer nivel, relacionado al gremio de especies o ecosistema importante a conservar. Se agregó un último apartado en donde se añadió el componente de la biodiversidad nombrado en el encuentro.

Al analizar la similitud y la plausibilidad de espacialización de cada componente, se determinaron los indicadores espaciales que pudieran representar a los elementos de biodiversidad, con características similares de composición o funcionalidad. Finalmente, se determinaron 23 indicadores asociados a biodiversidad y se clasificaron entre los cuatro criterios de priorización elementales propuestos por Kukkala and Moilanen (2013) en el marco de la priorización espacial para la conservación. Estos indicadores están disponibles en el apartado de resultados, ya que provienen de las respuestas ciudadanas en el encuentro metropolitano. Los criterios utilizados en este estudio fueron los siguientes:

Adecuación: Es la evaluación de la pertinencia y efectividad de las estrategias y acciones implementadas para conservar y mejorar la biodiversidad en una zona determinada.

Irremplazabilidad: Es la frecuencia de aparición en sitios individuales en el rango de posibles sistemas representativos proporciona entonces un índice novedoso y útil de la importancia de cada sitio para la conservación.

Representatividad: Evalúa la cantidad de elementos de la biodiversidad que un área contiene o representa en todos los niveles de organización.

Vulnerabilidad/Amenazas: Definida como el riesgo de un área por ser transformada por daños causados a elementos de la biodiversidad, mediante procesos de amenaza.

Cada uno de estos criterios se compuso de distintos indicadores. Estos últimos, a su vez, construyeron a partir de métricas, que son valores espacialmente explícitos que representan diferentes atributos de la biodiversidad. Finalmente, se calculó una ponderación para cada indicador según la frecuencia de menciones. Este paso es de suma importancia y cambia drásticamente los resultados de la priorización espacial en Zonation. Es importante mencionar que los insumos espaciales requeridos para desarrollar cada métrica, al igual que las 23 métricas que componen el mapa representativo de biodiversidad, no están disponibles en la base de datos espaciales del expediente de esta etapa. Las bases de datos de esta entrega están en calidad de borrador y serán debidamente corregidas en la entrega final.

Indicador de Vulnerabilidad de Riesgo de Hábitat

Para este indicador se utilizará el modelo de Evaluación de Riesgo de Hábitat de INVEST, el cual posee un enfoque cuantitativo para evaluar la influencia acumulativa de los factores de estrés (amenazas) (Arkema et al., 2014). El modelo incorpora dos dimensiones de información para calcular el riesgo: exposición y consecuencia. La exposición es definida como el grado en que el hábitat interactúa con un factor de estrés. La consecuencia es la respuesta del hábitat a esta exposición, acá se considera la resiliencia y la sensibilidad del hábitat. La ERH considera dos tipos de coberturas a) hábitat y b) los factores de estrés. Cada cobertura tendrá criterios asociados.

Los hábitats que se utilizaron en el modelo son los “bosques nativos”, “humedales” y “ríos y esteros” y a su vez los factores de estrés en la tabla 5. Para los hábitats se otorgaron criterios de

resiliencia de hábitat y para los factores de estrés criterios de superposición (**Tabla 5**). Se determinó el grado de exposición y consecuencia, entre una escala de 1 y 3; donde 0 = sin puntuación. Hay que considerar que el valor 3 representa una mayor exposición o consecuencia y dan lugar a puntuaciones de riesgo más altas.

Tabla 5. Criterios utilizados en el modelo de ERH para cada cobertura.

Coberturas	Criterios
Hábitat	Tasa de reclutamiento
	Tiempo de recuperación
	Tasa de mortalidad natural
	Intensidad del disturbio
Factor de estrés	Magnitud del disturbio
	Cambio en la calificación del área
	Cambio en la calificación de estructura
	Superposición temporal

También, se estableció una función de decaimiento ponderado, el cual modela el efecto de los factores de estrés según su área de amortiguación. Con esto, mientras más cerca esté el hábitat de la amenaza, más riesgo posee (Sharp et al., 2014). Para esto se otorgaron distintas distancias de amortiguamiento para cada factor de estrés, esto dependiendo de qué tan influyente es el impacto que generan en los ecosistemas naturales (**Tabla 6**).

Tabla 6. Factores de estrés con sus distancias de amortiguamiento para el modelo.

Factores de estrés	Distancia de amortiguamiento (m)
Cultivos agrícolas	300
Minería	400
Plantaciones forestales	600
Red vial	250
Zona urbana	1000
Yacimientos	200
Proyectos del SEIA	250
CUS de bosque nativo	1000
CUS de humedales	1000
Especies exóticas	600
Incendios severidad baja	50
Incendios severidad media	100
Incendios severidad alta	200

Enfoque metodológico de priorización espacial para la biodiversidad

El desarrollo de la Infraestructura Ecológica consiste en la implementación de un marco teórico de Planificación Sistemática para la Conservación (PSC). Este trabajo sigue un enfoque metodológico de priorización espacial para la biodiversidad.

Todas las métricas espaciales identificadas en el Encuentro metropolitano, debidamente clasificadas y ponderadas (**Tabla 6**), fueron superpuestas utilizando Zonation, resultando en un modelo metropolitano de áreas de alto valor para la biodiversidad.

Zonation es un meta-algoritmo que asume desde el inicio que todo el paisaje está protegido, luego procede a clasificar de forma iterativa removiendo en cada paso los pixeles que lleve a la menor pérdida marginal agregada de la biodiversidad. En este proceso, los sitios menos relevantes reciben los rangos más bajos (cerca de 0), mientras que los sitios más valiosos y biodiversos reciben los rangos más altos (cerca de 1). El programa describe espacialmente las distribuciones de una o más características de la biodiversidad, las que pueden ser especies, ecosistemas o SSEE. Prioriza espacialmente los mejores sitios para la conservación desarrollando un ranking jerárquico de prioridades para todo un paisaje.

2.1.4. Pilar III: Cuantificación y mapeo de SSEE

Servicios ecosistémicos seleccionados y sus ponderaciones

A partir de un análisis de frecuencia de las respuestas de todas las mesas del área de estudio en los talleres comunales, se determinaron los servicios ecosistémicos mayormente demandados a escala metropolitana. Se identificaron 34 servicios ecosistémicos demandados: 17 servicios de regulación, 11 de aprovisionamiento, y seis servicios culturales. De este total se identificaron diez servicios prioritarios que fueron mencionados en todas las comunas (12 comunas) y al menos en más 50% del total de mesas (39 mesas en total). De estos diez servicios, la IE propuesta en este informe sólo contiene nueve. No se incluye el servicio de control de inundaciones, ya que aún no se completa su modelación. La evaluación de ese servicio se incluirá en la versión final de IE.

Tres de estos servicios fueron modelados a partir del estudio de riesgos. Estos son: Protección contra incendios, remoción en masa y control de inundaciones. Este último no fue incluido en esta versión del estudio, ya que aún está en proceso de modelamiento. Cada uno de estos tres servicios obtenidos del componente de riesgo fue obtenido calculando su inverso, es decir, aquellas zonas en donde no existe el riesgo, o existe en menor magnitud. En otras palabras, se obtuvo la capacidad de mitigación de riesgo. El resto de los servicios fue modelado siguiendo protocolos de evaluación de oferta potencial de servicios a través de modelos biofísicos. En base a las frecuencias de mención de los servicios con mayor representatividad en las mesas se calculó un valor ponderado para cada uno de los nueve servicios identificados,

Entre los servicios prioritarios la mayoría fueron servicios de regulación, y entre ellos aquellos vinculados a la mitigación de riesgos (i.e., protección contra incendios y regulación de inundaciones o tsunamis), la regulación de la calidad del aire y del agua, así como la regulación termal (local). Los servicios prioritarios de aprovisionamiento estuvieron relacionados con la provisión de agua, alimento proveniente de plantas cultivadas, y alimento proveniente de plantas silvestres (recolección). Entre los servicios prioritarios culturales se encontró la recreación asociada a áreas naturales (mayormente se mencionan bosques y humedales). Inclusive, se destacó que varios de los servicios prioritarios están asociados a los mismos ecosistemas identificados como importantes en el encuentro metropolitano sobre biodiversidad (ej., plantas silvestres, control de inundaciones): los bosques nativos y los

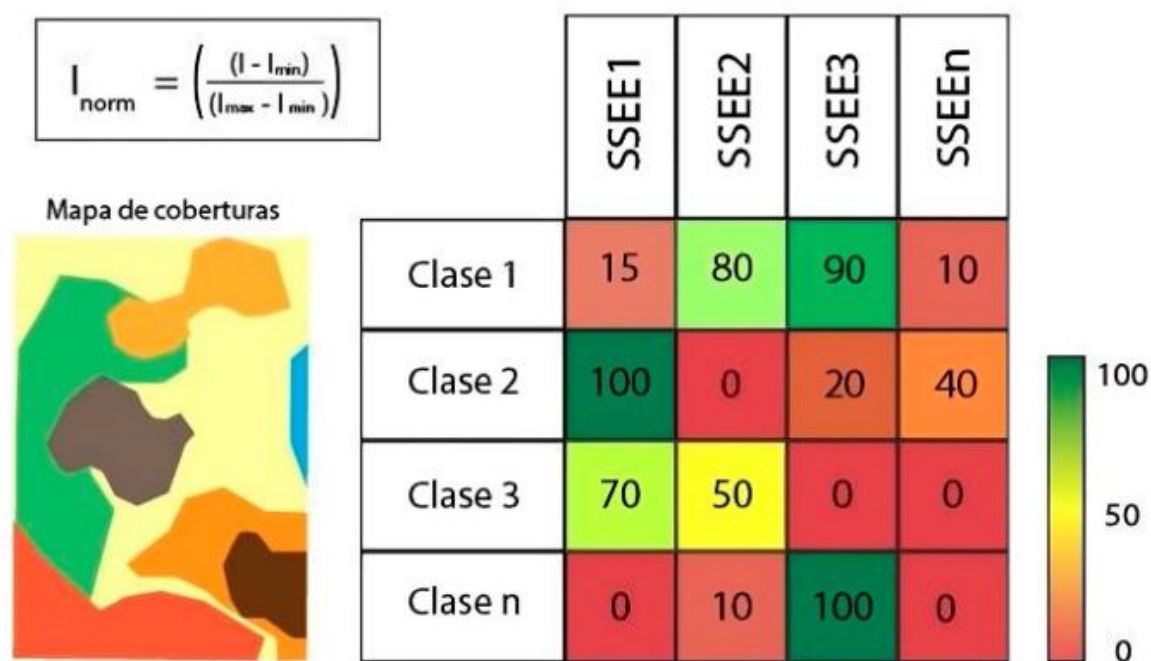
humedales. La tabla con los servicios ecosistémicos seleccionados, su frecuencia y ponderación para su modelación serán presentados más adelante en resultados.

Espacialización de la oferta potencial de servicios ecosistémicos con indicadores

Existen diversas aproximaciones para la cuantificación y mapeo de SSEE. En el presente trabajo, se utilizaron modelos biofísicos de SSEE desarrollados en el marco de varios proyectos FONDECYT liderados por el Laboratorio de Ecología de Paisaje para la cuantificación de los SSEE del AMC. Estos modelos biofísicos se basan en parámetros estimados a partir de diversos métodos, incluyendo mediciones directas en terreno (ej., inventario forestal) y mediciones indirectas (ej. sensores remoto). Los modelos cuantifican la oferta de cada servicio ecosistémicos en unidades de medida (por ej., ton/ha, kcal/ha, m³/ha) para cada ecosistema presente en el área, es decir, cuantifica la capacidad de cada cobertura para proveer los servicios estudiados. Como se mencionó anteriormente, tres de los diez servicios seleccionados fueron evaluados a partir de los modelos del componente de Riesgo de desastres, utilizando el inverso del riesgo para encontrar las zonas con más capacidad de mitigación. En general, se reconoce que el mapeo de SSEE a través de modelos biofísicos es uno de los más rigurosos a la hora de evaluar oferta potencial.

El mapeo permitió identificar los patrones espaciales de la oferta de SSEE en el área metropolitana, en términos de magnitud y de tipo de servicio. Dado que la cartografía de la Consultoría será generada en base a una resolución de 10 m x 10 m, cada indicador disponible (generado a una resolución de 30 m) deberá ser re-escalado (downscaling). De esta manera, cada una de las coberturas de suelo identificadas en la primera etapa de la consultoría, llevó asociada una determinada capacidad para proveer los SSEE identificados (**Figura 2**). Como resultado final se generaron mapas de oferta potencial para cada uno de los nueve SSEE identificados.

Figura 2. Cada clase de uso de suelo posee diferentes capacidades para proveer servicios ecosistémicos. A partir de estos valores se cuantifica la capacidad del área de estudio para proveer SSEE mediante un enfoque espacialmente explícito.



2.2. CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA: PROCESO DE PRIORIZACIÓN ESPACIAL

Los indicadores espaciales de biodiversidad y de los SSEE fueron sometidos a un proceso de priorización siguiendo el enfoque de PSC. Para ello se utilizó el software *Zonation*, ampliamente utilizado para planificación de la conservación en diferentes paisajes terrestres y marinos del mundo, cuyo objetivo es aportar antecedentes para la toma de decisiones y destinación de recursos para la conservación. Este software permite un enlace directo con los datos SIG y los indicadores desarrollados para la priorización de la conservación (Moilanen et al. 2009). Permite realizar clasificaciones de prioridad espacial, a través de un meta algoritmo que remueve de forma iterativa las celdas o unidades de planificación, que lleven a la menor pérdida agregada de la biodiversidad y SSEE.

A través del proceso de priorización espacial se obtuvo un mapa de multifuncionalidad, reconocido como la unión de los sitios relevantes para la biodiversidad con las zonas de provisión de SSEE. Este archivo espacial posee zonas distribuidas en cinco diferentes categorías, desde muy baja multifuncionalidad (1), hasta una muy alta multifuncionalidad (5). Este último valor representa hotspots, que son zonas en las que existe gran oferta potencial de los SSEE más demandados y, a su vez, zonas de muy alto valor para la biodiversidad, según los indicadores propuestos. En una fase siguiente, el mapa fue sobrepuesto con los nodos de conectividad (hábitat de especies focales), constituyendo las AVE. A su vez, los corredores del modelo de multi-especie conectan las áreas AVE para dar lugar a las áreas núcleo de la IE. Para

caracterizar las áreas núcleo de la IE se distinguieron componentes, que corresponden zonas de la IE que, a partir de su conectividad a través de los corredores, son distinguibles como una única unidad. Estos *clúster* o componentes representan agrupamientos de áreas AVE y son sitios muy relevantes debido a su contribución a los SSEE, a la biodiversidad y por poseer conectividad. Por otra parte, las zonas AVE que no estaban agrupadas a los principales componentes fueron designadas como áreas subsidiarias al componente más cercano (**Tabla 7**). Se distinguieron los principales elementos del paisaje contenidos en la IE. Estos fueron caracterizados según su estructura, a través de un análisis por rangos de tamaño, coberturas de suelo, porcentajes de superficie y representatividad de la IE. De este modo, las áreas núcleo de la IE representan elementos del paisaje distinguibles, tales como humedales, lagunas y masas boscosas importantes.

Luego de un proceso de retroalimentación con el equipo de la consultoría de IO, la IE propuesta originalmente fue sometida a cambios, incorporándose una modificación como respuesta a un comentario del equipo aludido, para promover mayor conectividad entre los diferentes componentes de la IE.

Tabla 7. Conceptos clave necesarios para comprender la Infraestructura Ecológica.

Concepto	Descripción
Multifuncionalidad	Capacidad del paisaje para proveer múltiples servicios ecosistémicos (SSEE) y sostener elementos relevantes de la biodiversidad. Deriva de la unión entre los pilares II y III y se clasifica en cinco categorías desde muy baja hasta muy alta, donde la muy alta representa gran oferta potencial de SSEE y muy alto valor para la biodiversidad.
Nodos de conectividad	Sitios que constituyen hábitat de especies focales y puntos clave para el modelo de conectividad.
Corredores de conectividad	Rutas que conectan nodos o hábitat, facilitan el movimiento y la dispersión de especies focales.
Áreas de Alto Valor Ecológico (AVE)	Áreas resultantes de la unión entre zonas muy altamente multifuncionales (biodiversidad y servicios ecosistémicos) con los nodos de conectividad del modelo multi-especie.
Áreas Núcleo de la IE	Áreas formadas por la conexión de AVE mediante corredores de conectividad, consideradas esenciales por su alta conectividad, biodiversidad, y provisión de SSEE.
Componentes	Clúster o agrupamientos de áreas núcleo de la IE, representando unidades distinguibles y relevantes por su conectividad y contribución a la biodiversidad y los SSEE.
Áreas Subsidiarias	Zonas AVE que no están agrupadas en los principales componentes, pero se designan como parte del componente más cercano debido a su proximidad y relevancia ecológica.

2.3. ESTABLECER EL POTENCIAL SINÉRGICO ENTRE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

El potencial sinérgico entre biodiversidad y los SSEE relevantes resultó de dos instancias. La primera a través de la presentación de evidencia científica recopilada desde estudios previos para paisajes con ecosistemas similares al AMC. Una segunda aproximación será mediante un

análisis espacial entre los indicadores de biodiversidad y SSEE generados en la sección anterior, para los cuales se conducirán dos tipos de análisis:

- Identificación de *hotspot* de SSEE y biodiversidad. A partir de la unión entre los pilares de biodiversidad y servicios, se detectan los sitios en los que se proveen servicios alta magnitud y existen los mayores valores de biodiversidad. Estos *hotspot* constituyen las de muy alta funcionalidad, y juegan un rol estructural y funcional fundamental en el manteniendo la red de áreas relevantes. Estos son los componentes de la red. Se determinaron mediante un análisis de auto correlación espacial el cual permitió determinar clúster de SSEE y biodiversidad y el uso de índice de Moran local para evaluar el grado de significancia del agrupamiento. Por otro lado, se analizaron las áreas subsidiarias, compuestas por fragmentos más pequeños y no conectados a través de corredores, para determinar los factores que explican su muy alta relevancia.
- Grado de multifuncionalidad de la IE propuesta. Se estimó la proporción del área de estudio bajo diferentes grados de multifuncionalidad de SSEE contenida en la IE actual. A partir del mapa de multifuncionalidad de la IE propuesta, se clasificaron tipos de multifuncionalidad. Posteriormente, se realizó un análisis de congruencia espacial entre los tipos de multifuncionalidad y valores de biodiversidad para cuantificar el grado de sinergia entre estos dos componentes.

3. RESULTADOS

3.1. IDENTIFICACIÓN LA PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA

3.1.1. Resultados de los talleres participativos

Biodiversidad

La identificación de componentes de la biodiversidad respondió al nivel de organización; es decir, en niveles inferiores de biodiversidad mayor fue el número de componentes identificados. Se mencionaron 18 componentes a nivel de especie (18 especies), 11 componentes a nivel de comunidad, y 7 componentes a nivel de ecosistema (**Tabla 1**). Sin embargo, la importancia relativa de los componentes de la biodiversidad no responde al orden de jerarquía del nivel de organización (especie, comunidad, ecosistema). La importancia relativa de cada nivel es diferente cuando se considera la frecuencia de menciones de los componentes.

Los actores locales se enfocaron en el nivel ecosistémicos; los ecosistemas (naturales y seminaturales), comprenden el 60% de las menciones, lo que sugiere un foco de los actores sociales hacia el nivel ecosistémicos en general. Además, no es menor que casi el 32% del total de menciones se enfocó al nivel jerárquico de especie, en el cual se mencionaron 18 especies de distintos grupos taxonómicos, que incluyeron flora arbórea y herbácea (ej., queule, pitao, naranjillo, copihue), como fauna, sea terrestre (ej., monito del monte, güiña, pudú, puma) o vinculada a ecosistemas acuáticos (ej., coipo, cangrejo tigre, carmelita de Concepción, y varias aves). Esto evidencia dos cosas: en primer lugar, que las personas identifican, en general,

ecosistemas a los cuales le otorgan importancia, y varias de las especies características de cada uno de estos ecosistemas. En segundo lugar, se evidencia la identificación por parte de los actores locales de especies en categoría de protección, irremplazables y característicos de los mismos tipos de ecosistemas mencionados arriba (bosques nativos y humedales y lagunas).

Dentro de cada nivel también se observaron algunas diferencias. A nivel de ecosistemas (60%, el más importante), los humedales (casi 40% de las menciones) y bosques nativos (34%) fueron los mencionados mayormente, los cuales acumulan el 74% de las menciones de ecosistemas, y el 44% de las menciones totales. Esto resalta la importancia que se da a este tipo de ecosistemas en el área metropolitana.

A nivel de comunidad (8.7%), el foco de los actores locales estuvo en la fauna y no se mencionan comunidades vegetales. No se observaron grupos particularmente importantes, pero se destacan los polinizadores, con un 19% de las menciones en el nivel, seguidos por anfibios, luciérnagas y los zorros, con 12.5% cada uno, pero representando apenas 5% de las menciones totales.

A nivel de especie se observa mayor diversidad, con flora y fauna. El monito del monte resultó el más importante, con casi el 14% de las menciones en su nivel, y el 4.5% de menciones totales. También resultaron de importancia la güiña y el pudú, con un 3.8% de menciones totales cada uno.

En la **Tabla 8** se evidencia la importancia relativa de los componentes de la biodiversidad en el área metropolitana de Concepción, por parte de los actores locales. La frecuencia indica el número total de menciones. La importancia en el nivel se refiere al porcentaje de menciones en el nivel de la biodiversidad (i.e., especie, comunidad, ecosistema), mientras que la importancia total se refiere al porcentaje del total de las menciones en el taller.

Tabla 8. Menciones del Encuentro metropolitano.

	Frecuencia	Importancia en el nivel (%)	Importancia total (%)
Humedales y lagunas	43	39.4	23.5
Bosque nativo	37	33.9	20.2
Red hídrica	16	14.7	8.7
Borde costero	6	5.5	3.3
Dunas	4	3.7	2.2
Áreas verdes	2	1.8	1.1
Riberas	1	0.9	0.5
Total	109		59.6
Polinizadores	3	18.8	1.6
Anfibios	2	12.5	1.1
Luciérnagas	2	12.5	1.1
Zorros	2	12.5	1.1
Artropofauna	1	6.3	0.5
Avifauna costera	1	6.3	0.5
Culebras	1	6.3	0.5

	Frecuencia	Importancia en el nivel (%)	Importancia total (%)
Especies de humedales	1	6.3	0.5
Fauna y avifauna	1	6.3	0.5
Funga	1	6.3	0.5
Mamíferos nativos	1	6.3	0.5
Total	16		8.7
<i>Dromiciops gliroides</i>	8	13.8	4.4
<i>Leopardus guigna</i>	7	12.1	3.8
<i>Pudu puda</i>	7	12.1	3.8
<i>Myocastor coypus</i>	6	10.3	3.3
<i>Gomortega keule</i>	6	10.3	3.3
<i>Puma concolor</i>	5	8.6	2.7
<i>Citronella mucronata</i>	3	5.2	1.6
<i>Castnia eudesmia</i>	3	5.2	1.6
<i>Pitavia punctata</i>	3	5.2	1.6
<i>Aegla conceptionensis</i>	2	3.4	1.1
<i>Lapageria rosea</i>	1	1.7	0.5
<i>Phalacrocorax gaimardi</i>	1	1.7	0.5
<i>Drimys winteri</i>	1	1.7	0.5
<i>Phoenicopterus roseus</i>	1	1.7	0.5
<i>Percilia irwini</i>	1	1.7	0.5
<i>Haematopus palliatus</i>	1	1.7	0.5
<i>Calidris alba</i>	1	1.7	0.5
<i>Galictis cuja</i>	1	1.7	0.5
Total	58		31.7
TOTAL GENERAL	183		

Esto evidencia que los actores locales, si bien identifican componentes de la biodiversidad a todos los niveles, brindan mayor relevancia a los ecosistemas (vinculado con su representatividad) y a ciertas especies (vinculado con su irremplazabilidad) (**Tabla 9**).

Tabla 9. Frecuencia de criterios de biodiversidad asociados a los componentes de biodiversidad mencionados por los actores locales en el área metropolitana de Concepción. 1

	Ecosistema	Especie	Comunidad	Total
Representatividad	93			93
Irremplazabilidad		58	16	74
Complementariedad	16			16
Total	109	58	16	183
	59.6	31.7	8.7	

Figura 3. Mapa conceptual a nivel de especie con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.

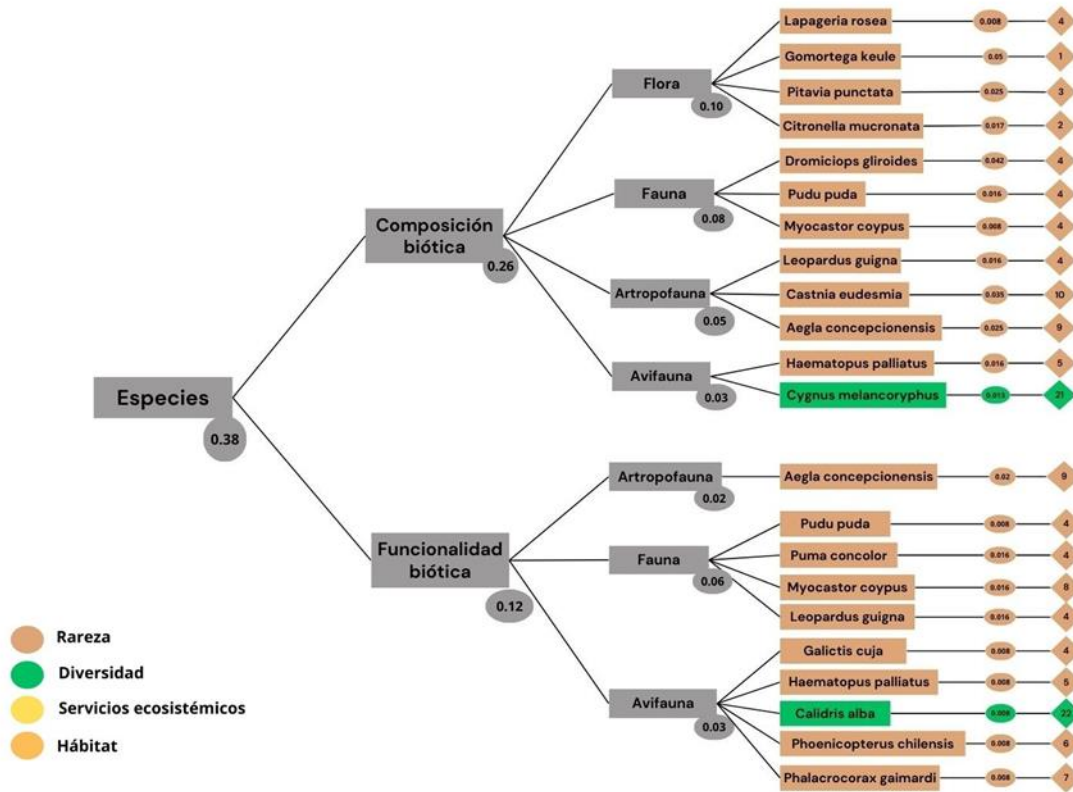


Figura 4. Mapa conceptual a nivel de ecosistema con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.

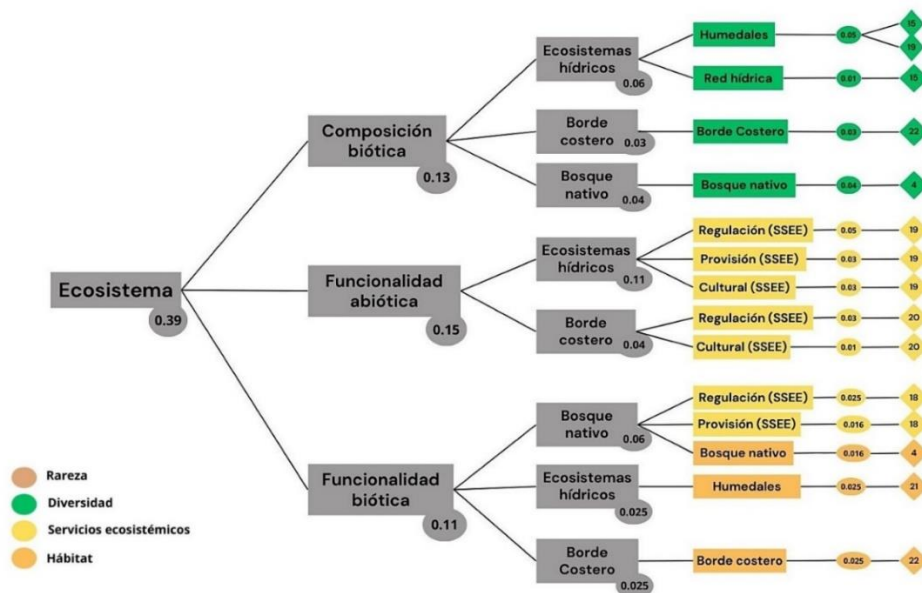


Figura 5. Mapa conceptual a nivel de comunidad con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.

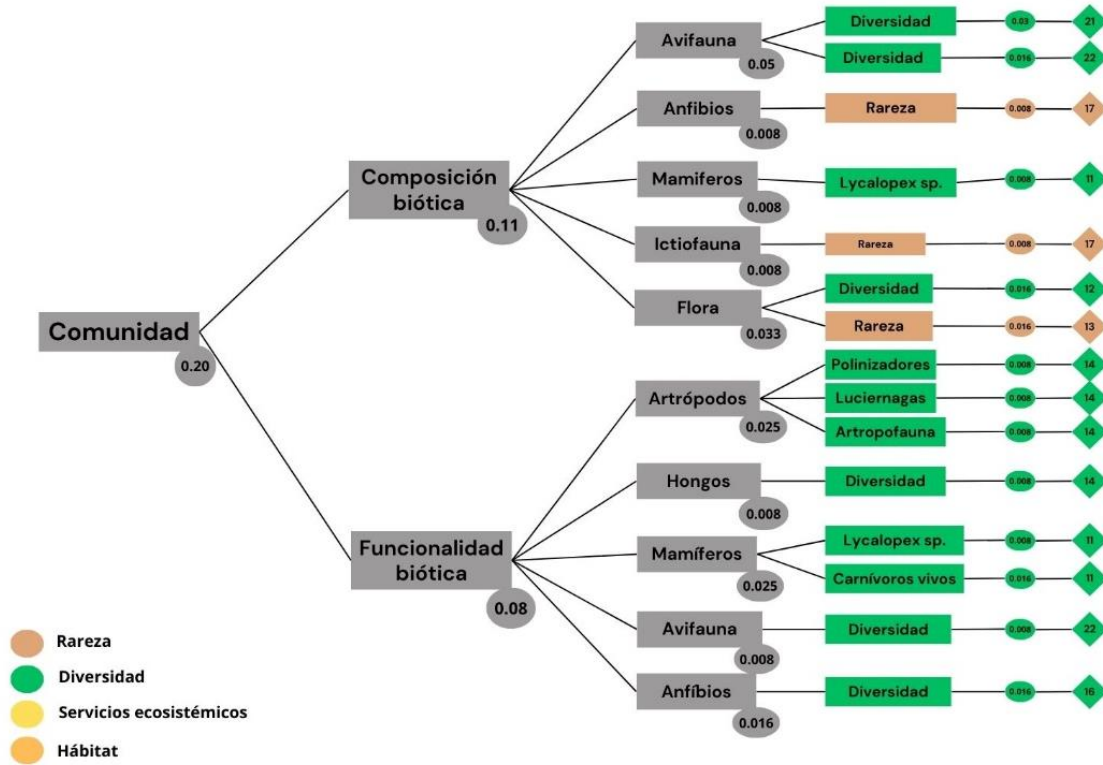


Figura 6. Mapa conceptual a nivel de paisaje con sus cuatro niveles: Niveles jerárquicos, atributos y gremios y ecosistemas. Además de su frecuencia ponderada.

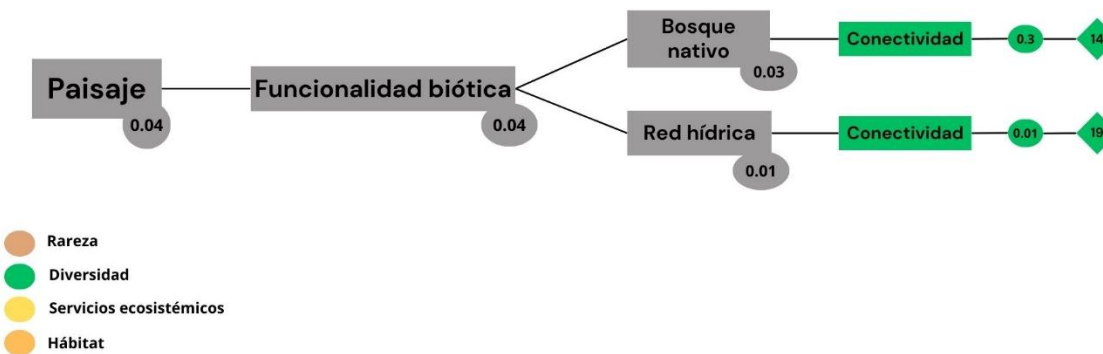


Tabla 10. Criterios asociados a sus respectivos indicadores, frecuencia de mención y la ponderación para modelamiento.

Criterio	Indicador	Frecuencia	Ponderación %)
Representatividad	Presencia de bosque nativo ponderado por tamaño de parche	26	18.98
	Presencia de bosque nativo ponderado por la riqueza de especies de mamíferos	4	2.92
	Presencia de bosque nativo ponderado por la riqueza de especies de flora	2	1.46
	Coberturas vegetacionales ponderado por tamaño de parche	4	2.92
	Humedales como hábitat de especies de avifauna ponderado por riqueza de especies	6	4.38
	Humedales ponderados por tamaño	15	10.95
	Dunas ponderadas por tamaño	5	3.65
Adecuación	Cobertura vegetal para regulación de procesos hídricos	5	3.65
	Humedales ponderados por la riqueza de especies de avifauna nidificantes	8	5.84
	Humedales costeros y playas ponderado por riqueza de especies de avifauna migratoria de larga distancia	11	8.03
Irremplazabilidad	Puntos de presencia de <i>Gomortega keule</i> (Queule)	6	4.38
	Puntos de presencia de <i>Citronella mucronata</i> (Naranjillo)	2	1.46
	Puntos de presencia de <i>Pitavia punctata</i> (Pitao)	3	2.19
	Puntos de presencia de <i>Haematopus palliatus</i> (Pilpilén)	3	2.19
	Puntos de presencia de <i>Phoenicopterus chilensis</i> (Flamenco)	1	0.73
	Puntos de presencia de <i>Phalacrocorax gaimardi</i> (Lile)	1	0.73
	Puntos de presencia de <i>Myocastor coypus</i> (Coipo)	3	2.19
	Puntos de presencia de <i>Aegla conceptionensis</i> (Cangrejo tigre)	5	3.65
	Coberturas vegetacionales ponderadas por grado de amenaza y superficie	4	2.92
	Presencia de bosque nativo ponderado por especies de flora amenazada	2	1.46
	Puntos de presencia de anfibios	3	2.19

	Puntos de presencia de comunidad de ictiofauna	1	0.73
Vulnerabilidad	Cercanía de amenazas antrópicas a ecosistemas naturales	17	12.41

Servicios ecosistémicos a escala metropolitana

Entre los servicios prioritarios la mayoría fueron servicios de regulación, y entre ellos aquellos vinculados a la mitigación de riesgos (i.e., protección contra incendios y regulación de inundaciones o tsunamis), la regulación de la calidad del aire y del agua, así como la regulación termal (local). Los servicios prioritarios de aprovisionamiento están relacionados con la provisión de agua, alimento proveniente de plantas cultivadas, y alimento proveniente de plantas silvestres (recolección). Entre los servicios prioritarios culturales se encuentra la recreación asociada a áreas naturales (mayormente se mencionan bosques y humedales). Inclusive, se destaca que varios de los servicios prioritarios están asociados a los mismos ecosistemas identificados como importantes en el encuentro metropolitano sobre biodiversidad (ej., plantas silvestres, control de inundaciones): los bosques nativos y los humedales.

Servicios ecosistémicos a escala comunal

El número de servicios ecosistémicos identificados como prioritarios varió entre tres (Lota, Penco – Tomé) y ocho (Hualpén – Talcahuano) en las distintas comunas, pero estos servicios no fueron los mismos para todas las comunas, ni tampoco reflejaron los servicios identificados a escala metropolitana (ej. agua superficial, y control de inundaciones).

El único servicio ecosistémico que resulta prioritario para todas las comunas es la recreación asociada a áreas naturales (bosques nativos y humedales (**Tabla 11**). En la mayor parte de las comunas, el control de inundaciones y tsunamis también resultó prioritario. Las comunas donde no fue prioritario fueron comunas interiores como Santa Juana y Florida, pero también (sorpresivamente) en el evento bicomunal de Penco – Tomé, donde solamente se mencionó en la mitad de las mesas.

Tabla 11. Servicios ecosistémicos prioritarios a escala comunal. Los servicios en letra normal, mencionados en la totalidad de las mesas de cada evento en la comuna correspondiente. Los servicios en letra cursiva, mencionados en al menos el 80% de las mesas.

Concepción - Chiguayante	San Pedro - Coronel
Recreación	Recreación
Control de inundaciones y tsunamis	Control de inundaciones y tsunamis
<i>Protección contra incendios</i>	<i>Protección contra incendios</i>
<i>Agua superficial para beber</i>	<i>Agua superficial para beber</i>
<i>Plantas silvestres con fines nutricionales</i>	<i>Plantas silvestres con fines nutricionales</i>
<i>Calidad del agua</i>	<i>Calidad del agua</i>

Concepción - Chiguayante	San Pedro - Coronel
<i>Remoción en masa</i>	<i>Disminución del olor</i>
Florida	Santa Juana
Recreación	Recreación
Agua superficial para beber	Agua superficial para beber
Agua superficial utilizada como material (usos no relacionados con beber)	Agua subterránea (y subsuperficial) para beber
Protección contra incendios	Calidad del agua
Regulación termal	Plantas cultivadas para fines nutricionales
Lota	Penco - Tomé
Recreación	Recreación
Control de inundaciones y tsunamis	Agua superficial para beber
Disminución del olor	Calidad del agua
Talcahuano - Hualpén	Hualqui
Recreación	Recreación
Control de inundaciones y tsunamis	Control de inundaciones y tsunamis
Regulación termal	Regulación termal
Calidad del agua	Plantas cultivadas para fines nutricionales
<i>Remoción en masa</i>	
<i>Valor de existencia o legado</i>	
<i>Animales criados</i>	
<i>Calidad del aire</i>	

En 7 de las 12 comunas se mencionó como prioritaria la provisión de agua superficial para consumo humano, y 9 de las 12 también la regulación de la calidad de esta agua.

Los servicios ecosistémicos prioritarios fueron casi iguales para las comunas de Concepción, Chiguayante, San Pedro de la Paz y Coronel.

Hay servicios que resultan prioritarios en solamente una o dos comunas, como, por ejemplo: la provisión de agua subterránea (Santa Juana), la provisión de alimento con origen en plantas cultivadas (Florida, Hualqui), o la provisión de leña (Hualqui).

3.1.2. Pilar I: Conectividad biológica

Modelo de conectividad para *Leopardus guigna* – Güiña

Figura 7. *Leopardus guigna* (*Gato güiña*).

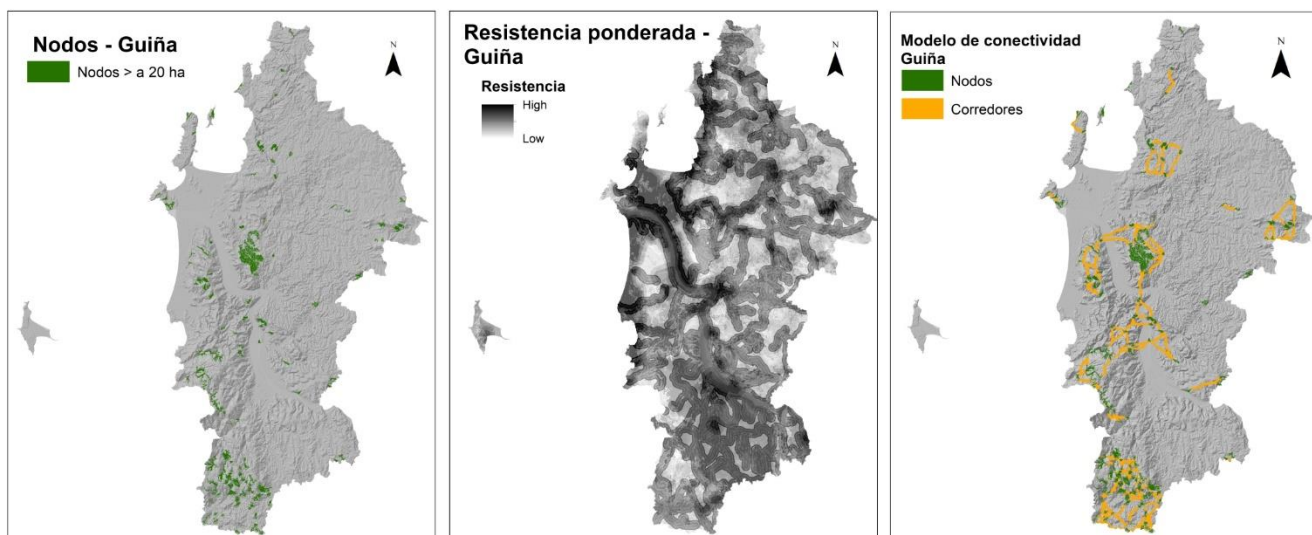


Fuente: Fotógrafo Joel Sartore, 2020.

La matriz de resistencia construida para esta especie, indica que los factores que le provocan una mayor dificultad al movimiento es la distancia a cuerpos de agua junto al tipo de cobertura y uso de suelo (**Figura 8**).

Esta especie de acuerdo con los inputs generados e información recopilada es el mamífero utilizado como especie focal con mayores requerimientos de hábitat en cuanto a superficie y que también posee un mayor rango de dispersión. Por eso, el modelo para güiña presentaba menos nodos y menos corredores, comparado con las demás especies de mamíferos considerados focales.

Figura 8. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para *Leopardus guigna*.



Modelo de conectividad para *Pudu puda* – Pudú

Figura 9. Pudu puda (*Pudú*).

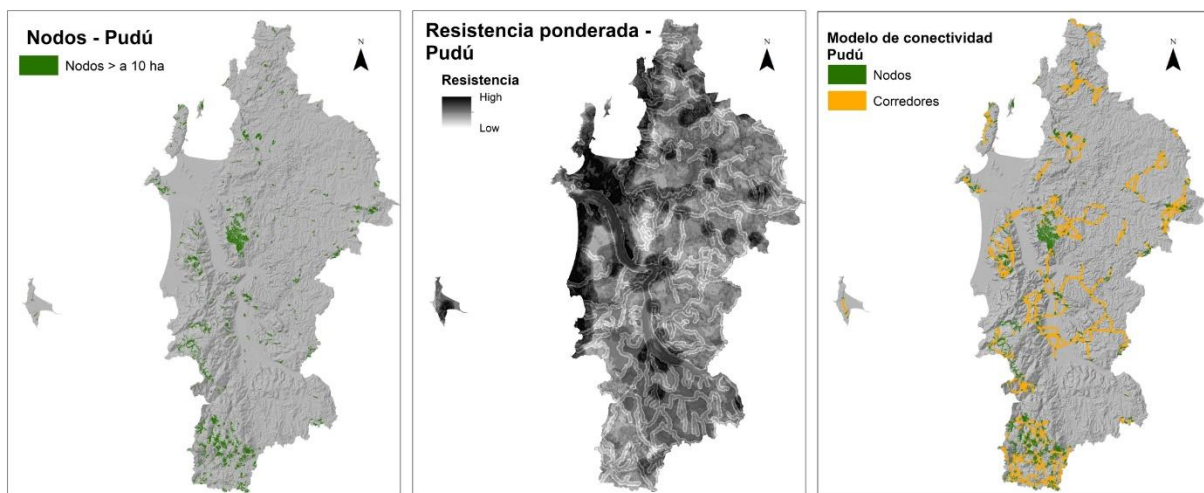


Fuente: iNaturalist Colombia

Para el caso de *P. puda* la matriz resultante muestra una imagen similar a la de guiña, pero con la diferencia de que para esta especie la distancia más cercana a cuerpos de agua generar una menor dificultad al movimiento.

Según este segundo modelo, se puede apreciar que guiña y pudú comparten la gran mayoría de nodos y corredores, pero que también existe otra gran proporción de estos que solo se encuentran visible en este último mapa (**Figura 10**).

Figura 10. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para *Pudu puda*.



Modelo de conectividad para *Dromiciops gliroides* - Monito del monte

Figura 11. *Dromiciops gliroides* (Monito del monte).

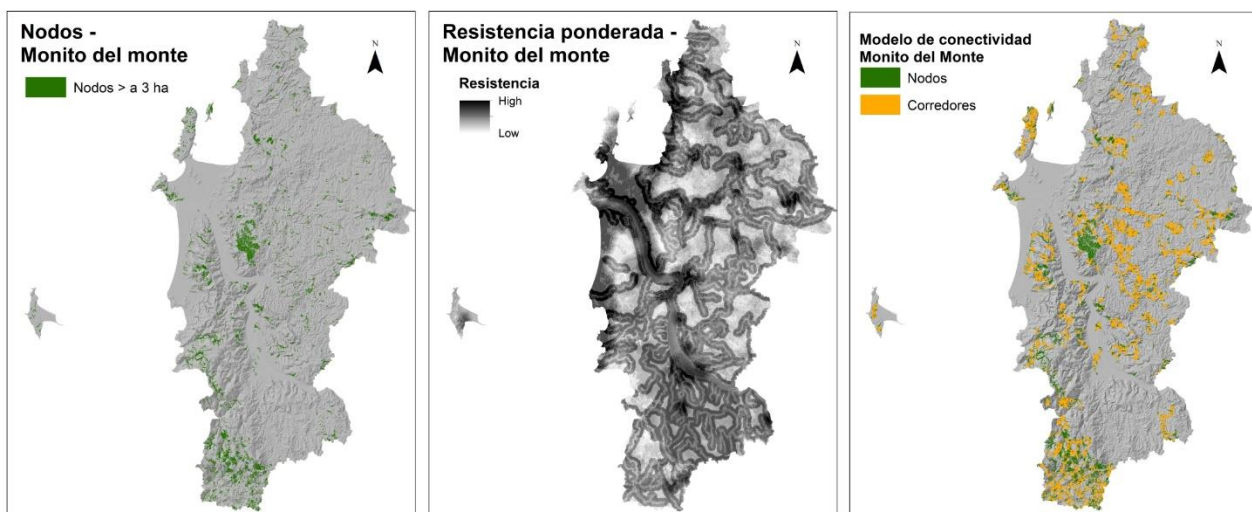


Fuente: iNaturalist Chile.

D. gliroides al igual que *P. puda*, demuestra que las distancias más cercanas a cuerpos de agua representarían una menor resistencia, pero este tendría una mayor plasticidad en cuanto a los tipos de coberturas y usos del suelo, debido que se encontraron gran cantidad de registros en plantaciones exóticas adultas, plantaciones jóvenes asilvestradas, matorral de quila, entre otras.

En cuanto al modelo resultante, se puede observar que Monito del monte es la especie que posee un menor requerimiento de superficie de hábitat, es por esto que se observa una mayor cantidad de nodos y corredores, pero de tamaños muy reducidos (**Figura 12**).

Figura 12. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para *Dromiciops gliroides*



Percilia irwini - Carmelita de Concepción

Figura 13. *Percilia irwini* (Carmelita de Concepción).

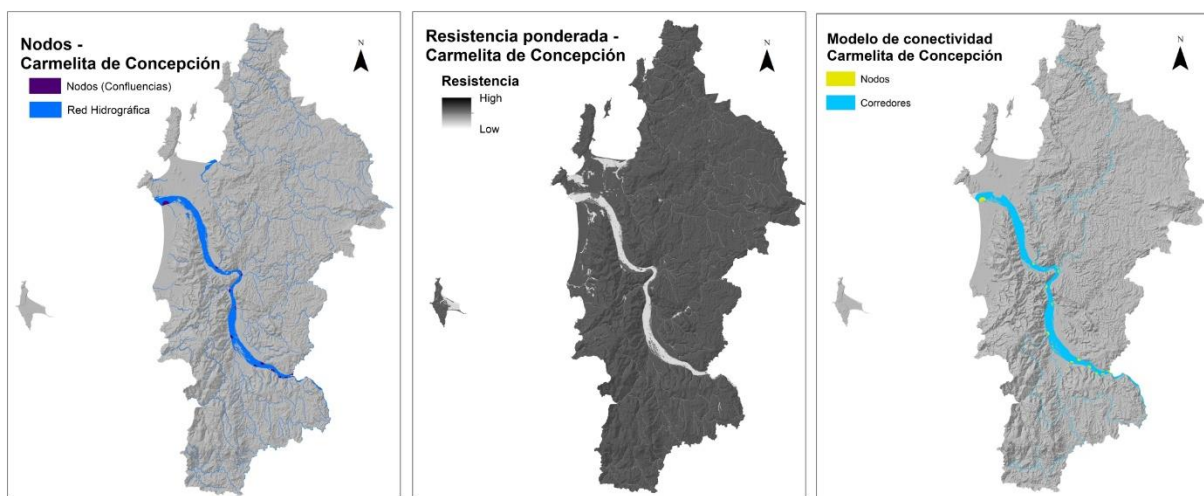


Fuente: Ladera Sur.

La resistencia para *P. irwini* estaba dada por tan solo dos variables, el tipo de coberturas y usos del suelo y los cruces de caminos rurales con cuerpos de agua, debido que estos son lo que se encuentran con una infraestructura menos desarrollada y puede implicar un obstáculo al movimiento de esta especie, también se tomó en consideración proyectos que se encuentran emplazadas en medio de los ríos como lo puede ser la extracción de áridos.

La mayor cantidad de nodos de esta especie se encuentran a lo largo del río Bio bío, y es por esto que también este cuerpo de agua es un potencial corredor para la especie y el más grande en toda la provincia, también se pudieron detectar otros como el río Andalién, Pingüeral (Tomé) y Cabrera (Santa Juana) (**Figura 14**).

Figura 14. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para *Percilia irwini*.



Modelo de conectividad para *Assio flameus* – Nuco

Figura 15. *Assio flameus* (Nuco).

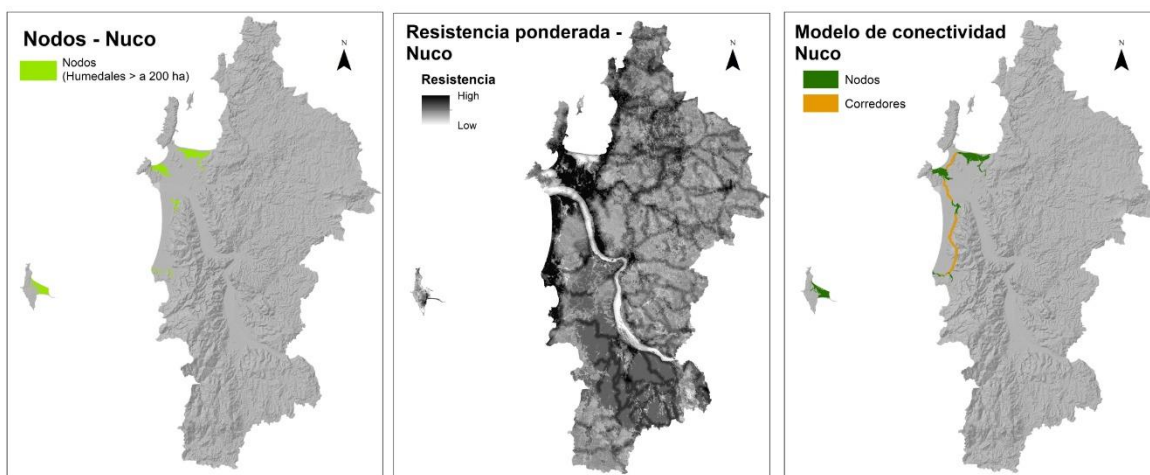


Fuente: Aves en Chile

La especie de ave de humedal *A. flammeus*, al tratarse de un búho de gran envergadura, posee un gran rango de hábitat y es por esto que en la provincia se encontraron tan solo cuatro humedales que cumplieran con este criterio, a pesar de esto de agrego un quinto, humedal boca Maule en Coronel, el cual si bien no cumplía con este rango si presentaba puntos de presencia por lo que fue considerado dentro del modelo de lo conectividad.

El modelo de conectividad del nuco muestra un corredor continuo entre los humedales costeros que fueron denominados como nodos para esta especie, quedando tan solo un nodo aislado en la isla Santa María por el hecho de que se encuentra a una distancia mayor y el mar como una barrera al movimiento (**Figura 16**).

Figura 16. Nodos, matriz de resistencia y modelo de conectividad para *Assio flameus*,



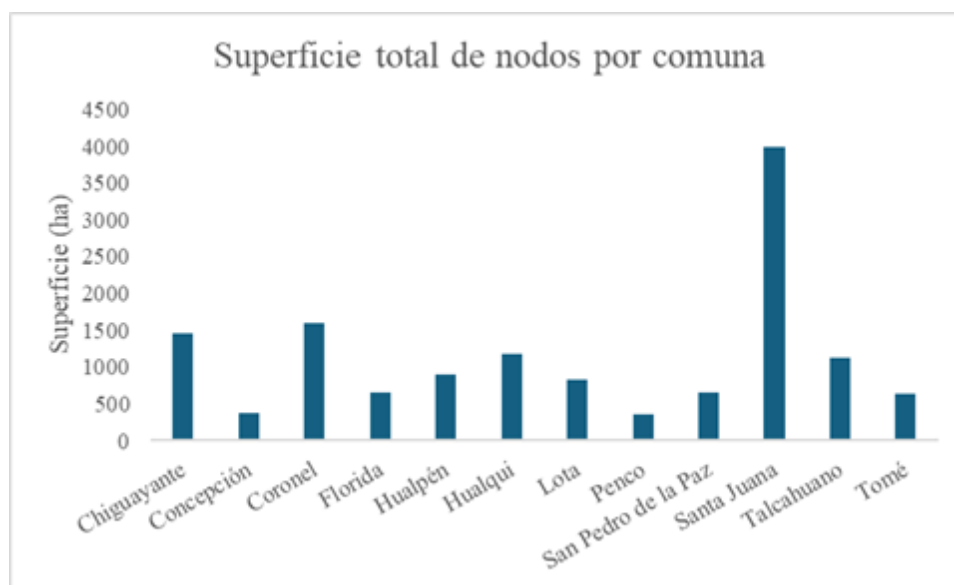
Modelo de conectividad multi-especie

A nivel provincial, el modelo multi-especie contempló un total de 256 nodos, tanto terrestres como acuáticos, sumando una superficie total de 13.850 ha y distribuidos en todas las comunas (Tabla 12, Figura 17). En algunos casos existen nodos compartidos entre dos o más comunas, como es el caso del Parque Nacional Nonguén. En esta tabla se cuentan en cada comuna.

Tabla 12. Nodos por comuna y su superficie en ha.

Comuna	Nodos	Superficie (ha)
Chiguayante	6	1456.91
Concepción	21	382.61
Coronel	23	1597.78
Florida	23	659.24
Hualpén	7	890.24
Hualqui	40	1185.77
Lota	10	826.34
Penco	8	357.19
San Pedro de la Paz	9	645.79
Santa Juana	89	3994.41
Talcahuano	11	1132.77
Tomé	26	627.28

Figura 17. Superficie total de nodos por comuna.

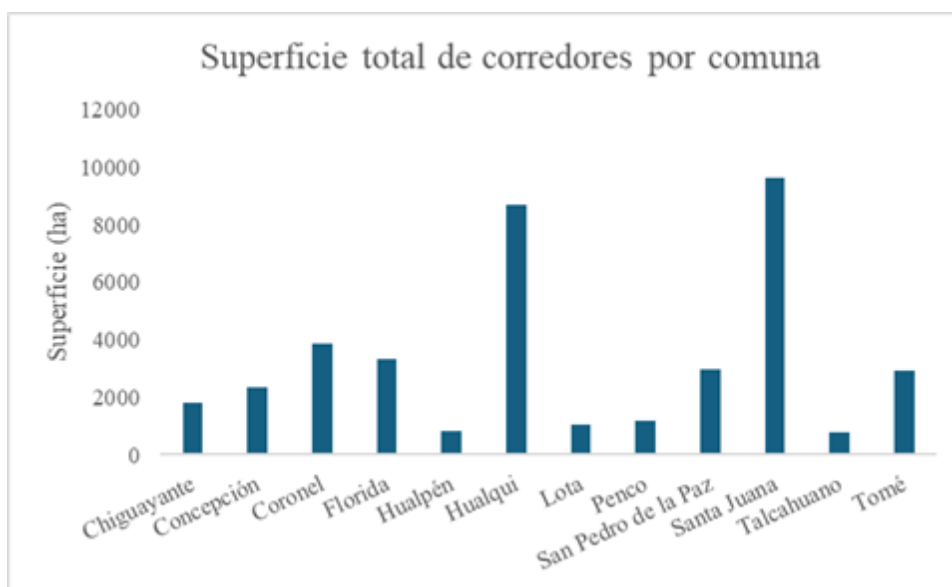


A nivel provincial, se obtuvieron 149 corredores (terrestres y acuáticos) que suman 39.496 ha (Tabla 13, Figura 18). Al igual que los nodos, gran parte de los corredores se generaron entre dos o más comunas, por lo que en la tabla de también son contabilizados en cada una de estas.

Tabla 13. Cantidad de corredores y superficie por comuna.

Comuna	Corredores	Superficie (ha)
Chiguayante	11	1829.93
Concepción	10	2364.8
Coronel	16	3864.9
Florida	15	3327.12
Hualpén	7	844.34
Hualqui	22	8676.07
Lota	12	1058.14
Penco	4	1194.59
San Pedro de la Paz	8	2964.93
Santa Juana	59	9621.44
Talcahuano	8	797.47
Tomé	16	2944.55

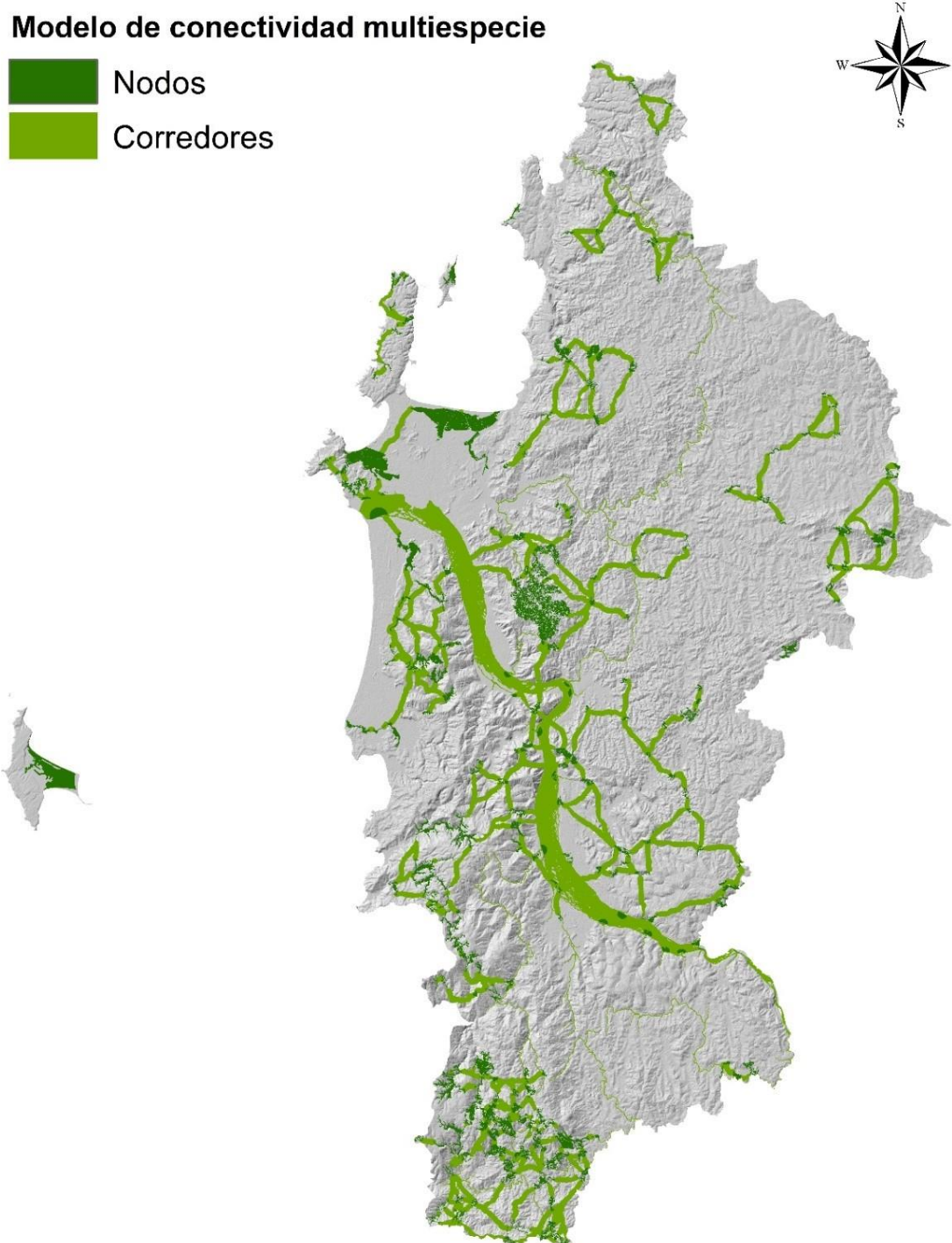
Figura 18. Superficie total de corredores.



Como último resultado se obtuvo un único modelo mediante la unión de corredores y nodos de las cinco especies focales, para este caso se puede observar en la provincia un total de 7 componentes, esto quiere decir nodos que se encuentran conectados entre sí por una o más uniones (

Figura 19).

Figura 19. Modelo de conectividad multi-específico del área metropolitana. En verde oscuro se destacan los nodos de hábitat y en verde claro los corredores.



En los 2 componentes situados en la comuna de Florida se agregaron 8 nodos y 12 corredores específicamente del modelo de Pudú, los cuales superaban el rango de dispersión de dicha especie en menos de 1 km, pero logrando de esta manera aumentar aún más la extensividad del componente 1.

3.1.3. Pilar II: Biodiversidad

Indicadores de biodiversidad

En total se modelaron 23 indicadores espaciales de biodiversidad, identificados por actores territoriales en el Encuentro metropolitano. Todos los indicadores llevaron asociada una ponderación (**Figura 20a a Figura 20c**). En general, existe redundancia en la relevancia de zonas cercanas al área metropolitana. Esto se debe a que gran cantidad de los elementos identificados por los actores fueron especies con presencia en el área metropolitana. Se destacan también, otras zonas que constituyen hábitat de especies de interés. Tal es el caso de los humedales, que fue altamente reconocido como un ecosistema relevante en el encuentro metropolitano. Al mismo tiempo, es un ecosistema que sostiene la presencia de especies como *H. palliatus* (Pilpilén), *P. chilensis* (Flamenco chileno) o *M. coypus* (Coipo) y que también constituye un sistema con alta riqueza de especies de avifauna (otro indicador). Es de esperar que constituyan zonas muy altamente prioritarias para la biodiversidad, considerando la cantidad de indicadores espaciales que respaldan su relevancia. El mismo caso se repite para ecosistemas boscosos, que son hábitat de especies amenazadas como *G. keule* (Queule), *C. mucronata* (Huillipatagua), *P. punctata* (Pitao).

Respecto al modelo de riesgo de hábitat se observa que los hábitats de la provincia de Concepción poseen un alto nivel de riesgo, esto principalmente por la gran superficie que abarcan las amenazas, que afectan principalmente los bordes de estos ecosistemas. Si tomamos como ejemplo el PN Nonguén, se observa que las áreas más internas del parque están menos expuestas a riesgo que las zonas más perimetrales, esto debido a la cercanía del ecosistema a la amenaza, la distancia de amortiguamiento de cada factor de estrés y la sinergia de estos. Por otra parte, el Humedal Rocuant-Andalién, posee 3 niveles de riesgo ya que las zonas interiores no están tan expuestas no están como las zonas más externas. A pesar de ello, este indicador sí podría contribuir a la designación del humedal como muy altamente relevante para la biodiversidad.

Un antecedente que es importante destacar es la baja cantidad de indicadores representando o relevando zonas periféricas del área de estudio (**Figura 21**). La gran mayoría de los indicadores muestra zonas de relevancia en sitios cercanos al radio urbano del AMC. Una hipótesis que podría sostener este relato tienes que ver con la cercanía de los actores territoriales que asistieron al encuentro de biodiversidad. Esta condición se traduce en el mapa de Valores de biodiversidad, en el cual se observa mayor concentración de sitios relevantes en la zona costera del AMC y, más específicamente, cercano al radio urbano del área de estudio. También destaca el río Biobío como un patrón espacial muy altamente relevante para la biodiversidad.

Figura 20a. Métricas espaciales de biodiversidad. De izquierda a derecha: Densidad de *Pitavia punctata*, Bosque nativo ponderado por tamaño, Densidad de *Haematopus palliatus*, Densidad de *Phoenicopterus chilensis*, Densidad de *Phalacrocorax Gaimardii*, Densidad de *Myocastor coypus*, Densidad de *Aegla conceptionensis*, Hábitat de *Castnia aodesmia*.

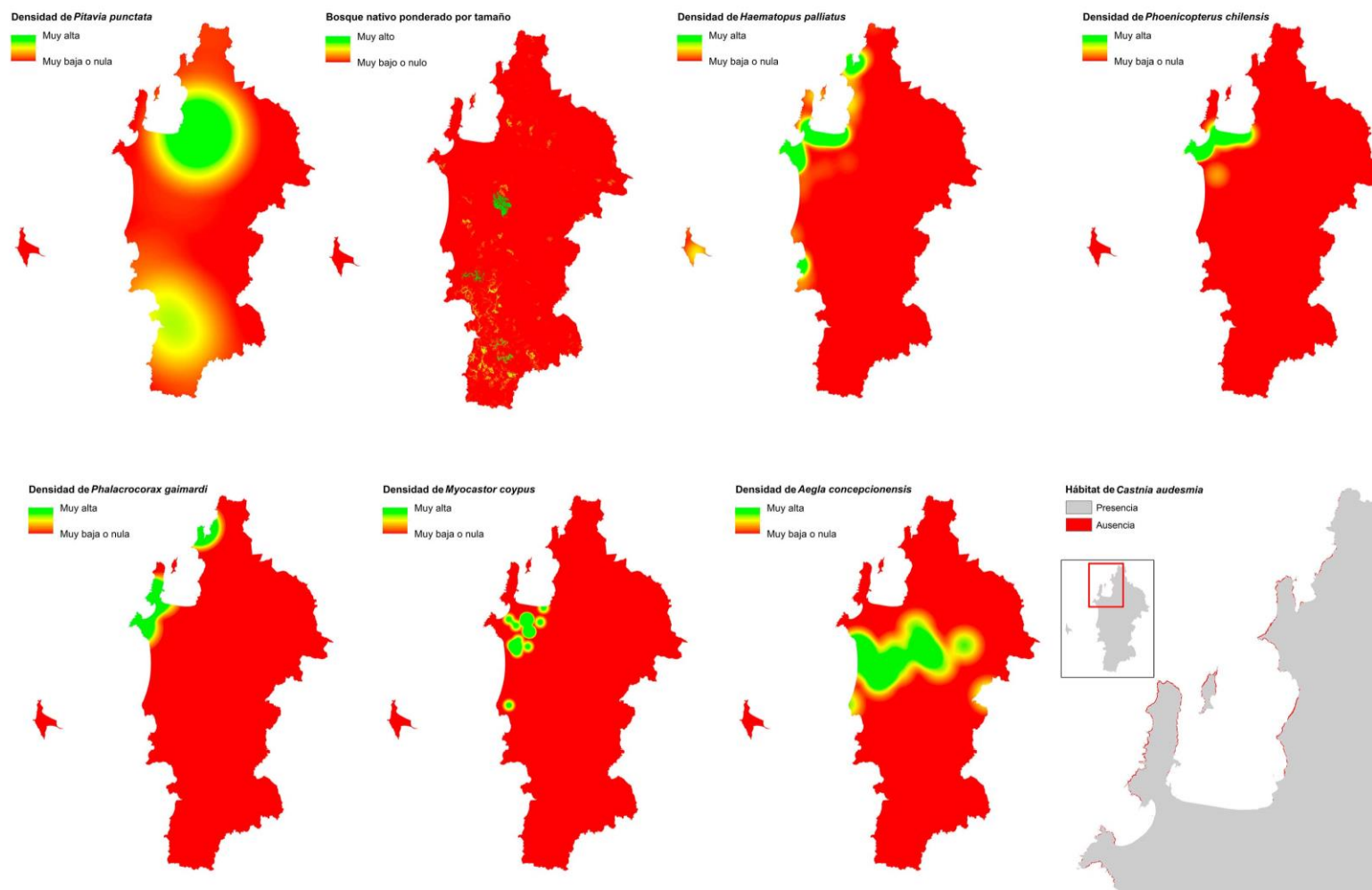


Figura 20b. Métricas espaciales de biodiversidad. De izquierda a derecha: Densidad de *Citronella mucronata*, Densidad de *Gomortega keule*, Riqueza de flora amenazada en bosque nativo, Riqueza de mamíferos de bosque nativo, Riqueza de flora en bosque nativo, Tamaño de fragmentos en coberturas vegetales, Riqueza de especies en humedales, Densidad de especies de anfibios.

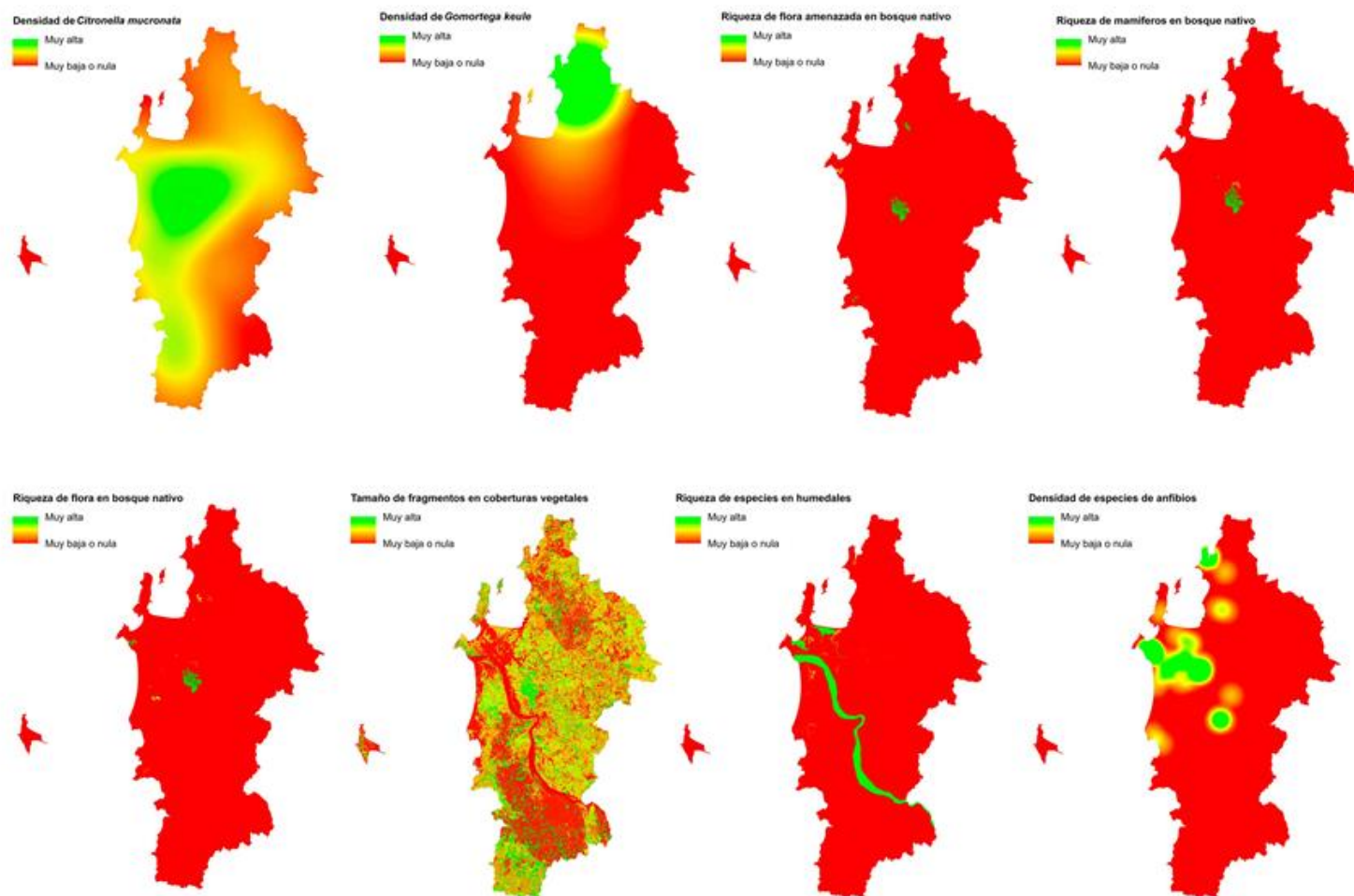


Figura 20c. Métricas espaciales de biodiversidad. De izquierda a derecha: Humedales ponderados por tamaño, Densidad de especies de ictiofauna, Regulación de procesos hídricos, Dunas ponderadas por tamaño, Riqueza de aves nidificadoras de humedales, Riqueza de aves migratorias en playas y humedales, Riesgo de pérdida de hábitat por actividades antrópicas.

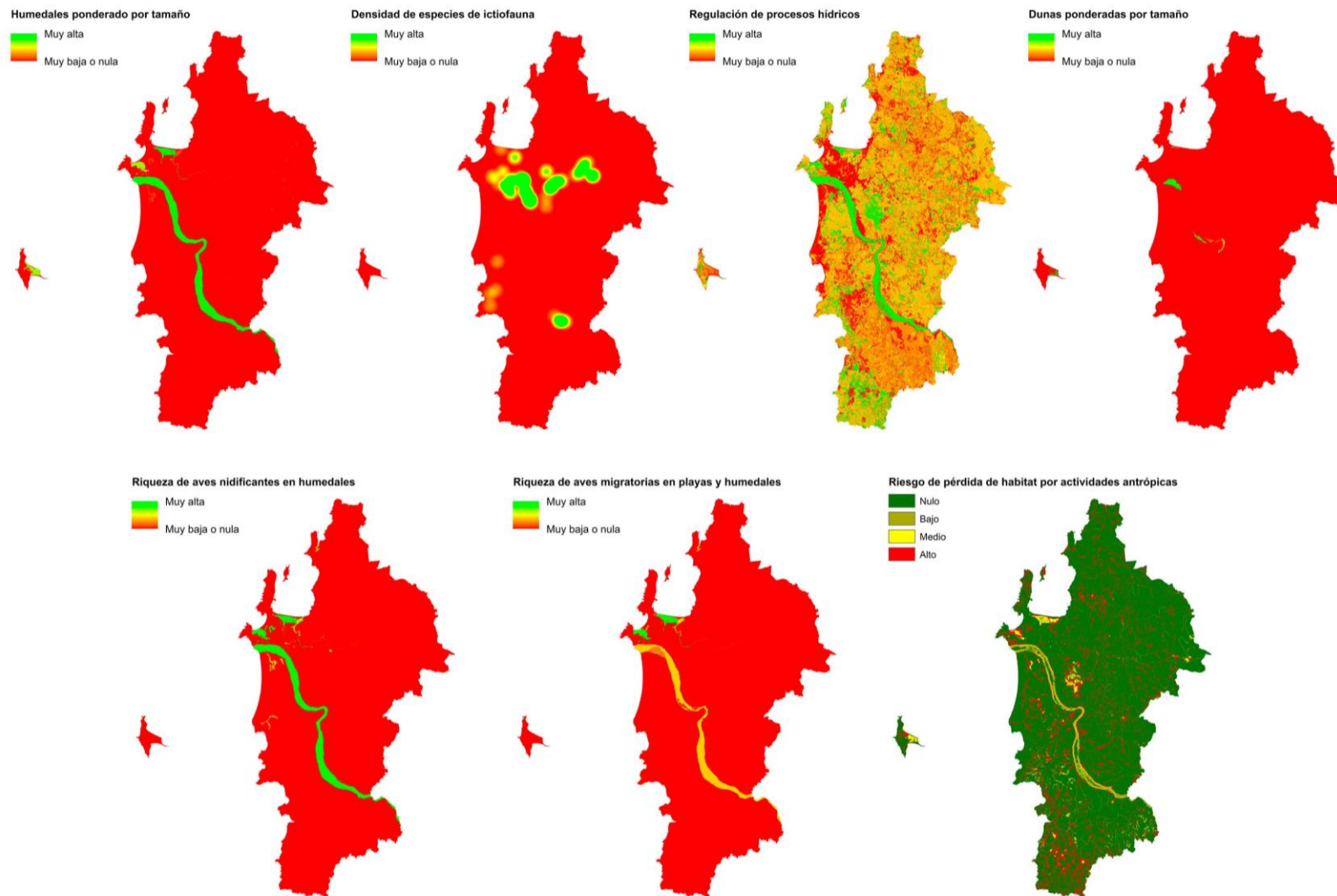
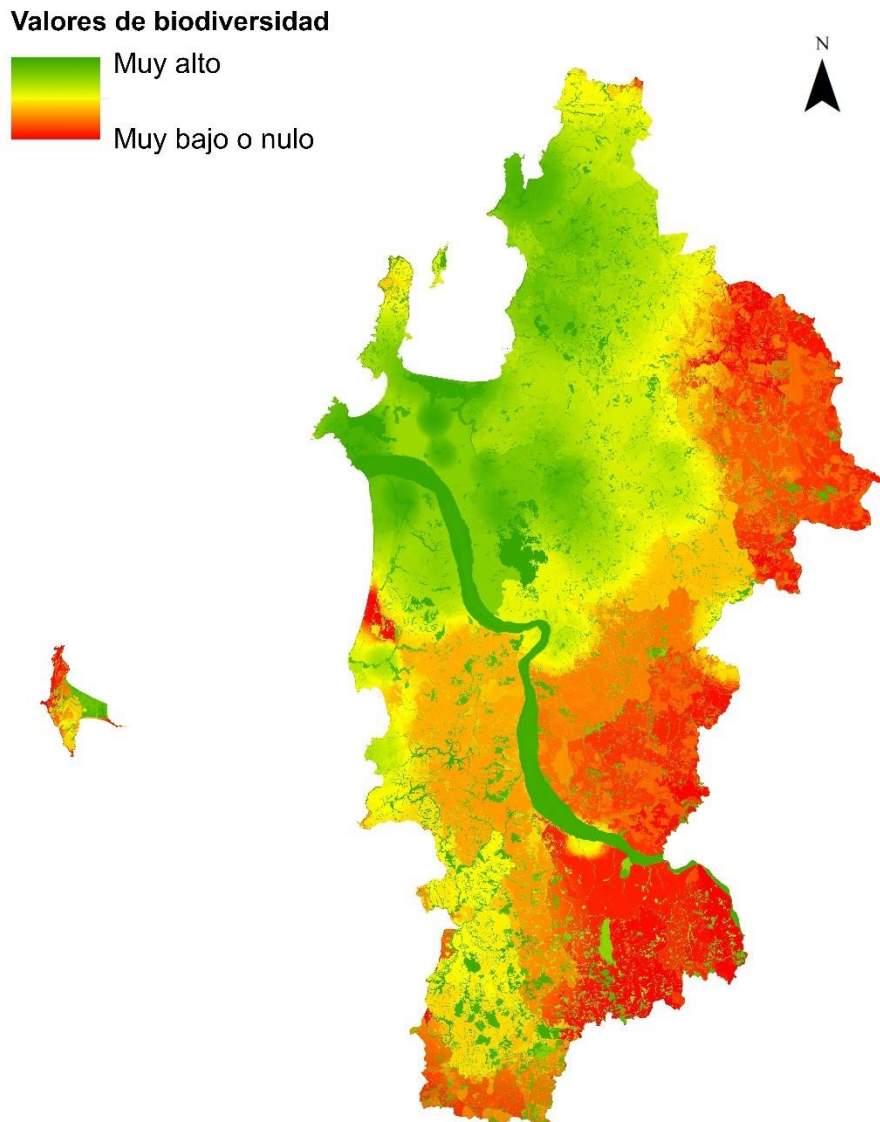


Figura 21. Valores de biodiversidad. Áreas relevantes para la biodiversidad



3.1.4. Pilar III: Servicios ecosistémicos

Los nueve indicadores espaciales de SSEE fueron modelados individualmente para facilitar la visualización de sitios relevantes para la provisión de servicios demandados. En su conjunto, fueron unidos a través de ponderaciones para obtener un modelo de provisión de múltiples SSEE mayormente demandados (**Figura 22**).

Figura 22. Modelos biofísicos de SSEE. De izquierda a derecha, arriba abajo: Agua superficial para beber, Regulación de la calidad del agua, Plantas cultivadas para fines nutricionales, Plantas silvestres para fines nutricionales, Potencial de recreación, Protección contra incendios, Regulación de la calidad del aire, Regulación termal, Control remoción en masa.

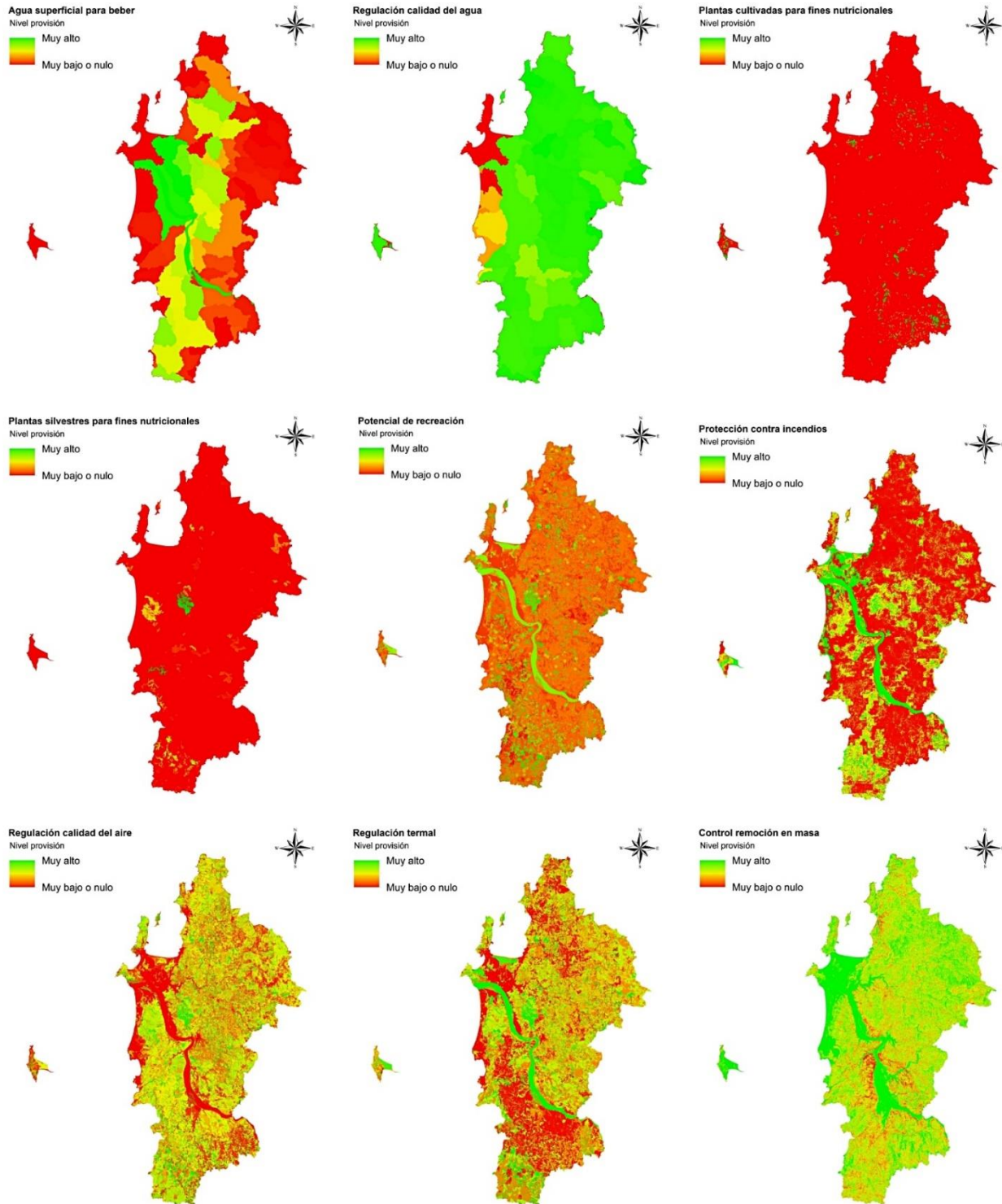
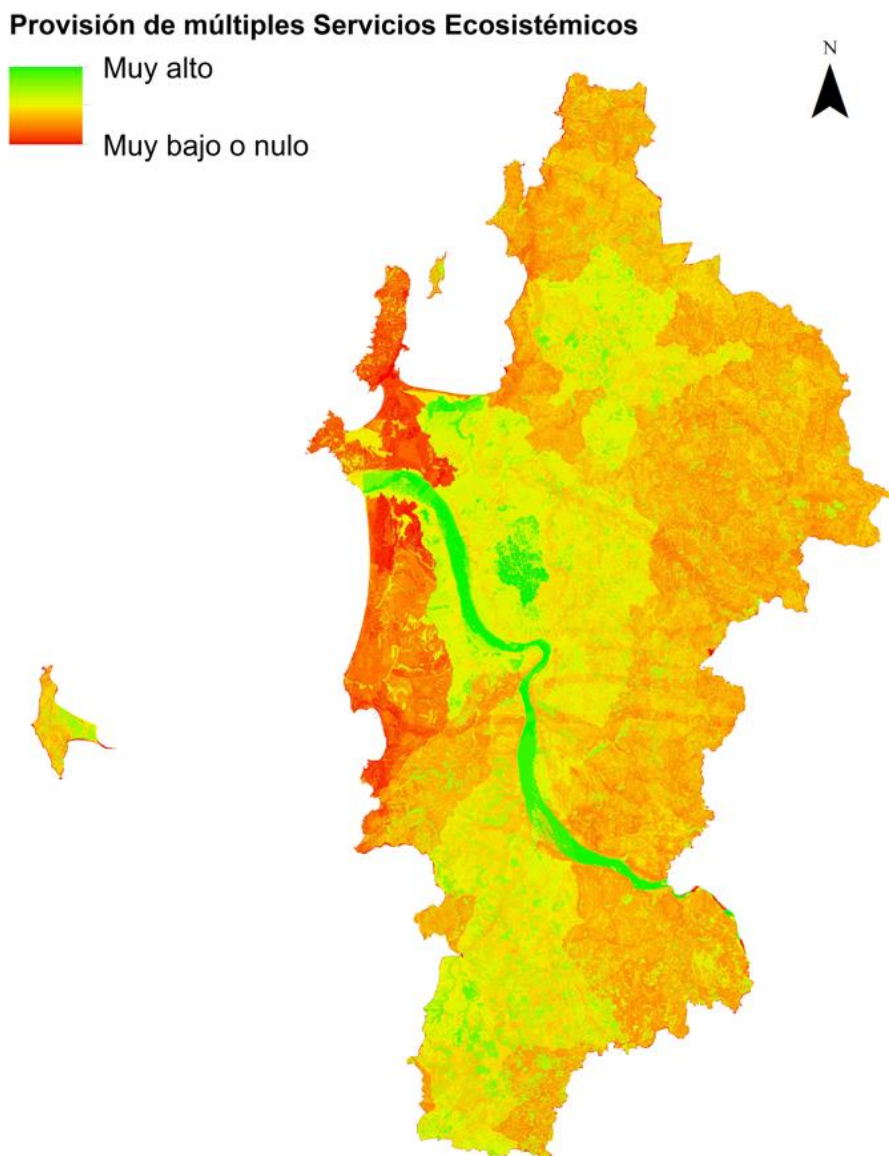


Figura 23. Mapa de provisión de múltiples servicios ecosistémicos.



Se observa que al oeste del área de estudio existe muy baja capacidad de provisión de múltiples servicios demandados (**Figura 23**). Esto concuerda espacialmente con el emplazamiento de las zonas urbanas más importantes, que es donde hay más presencia de actores que demandan SSEE. Esto demuestra la efectividad en la selección de los servicios y la efectividad de los talleres participativos al momento de recoger las respuestas ciudadanas. Al mismo tiempo, la zona costera del AMC y el radio urbano metropolitano son territorios altamente transformados, con escasa presencia de ecosistemas naturales que puedan sostener la provisión de múltiples SSEE. Las únicas excepciones en el radio urbano de lugares con alta capacidad de provisión son: el Parque Nacional Nonguén, distinguible como un gran fragmento al centro del área, el río Biobío. También destaca el humedal Rocuant-Andalién, al norte de la ciudad de Concepción, el humedal Los Batros en San Pedro de la Paz y fragmentos de bosque nativo en la comuna de Tomé como zonas con mediana capacidad para proveer múltiples SSEE demandados.

3.2. CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA

El presente resultado de este informe, con fecha 15 de noviembre de 2024, consiste una actualización de la IE entregada originalmente en la etapa 2 de la consultoría. Como respuesta a los requerimientos de la IE, se agregó un corredor para integrar la IE correspondiente a la comuna de Florida, que se encontraba desconectada en la versión anterior del informe. Este requerimiento de la IO tuvo como objetivo facilitar las modelaciones y la zonificación de las alternativas de estructuración, por tanto, no se desarrollaron análisis más detallados de la nueva versión de IE.

Se determinó que un 9,67% del AMC corresponde a elementos de la IE, esto es, un total de 33.590 ha. Del total de IE hallado, un 70,4% corresponde a áreas núcleo, mientras que el 29,6% restante corresponde a corredores que conectan distintas áreas de la IE. Para caracterizar la IE se identificaron 10 elementos del paisaje, pertenecientes a las AVE, cuya superficie alcanza un valor igual o superior a 200 ha. Estos, elementos representan más del 50% de la IE propuesta, por lo que son estructuras de gran relevancia (**Figura 24, Tabla 14**). El elemento más destacado de la IE es el Río Biobío en toda su extensión, pues representa un 37,22% del total de las AVE. La designación del Biobío es como el elemento más relevante es un asunto que vale la pena discutir, considerando las posibilidades de planificación y reglamentación que existen para sistemas no terrestres. Dentro de los elementos terrestres, se destaca el Parque Nacional Nonguén, que representa un 6,24% de la IE y cuya cobertura predominante es de bosque nativo. De igual modo, en Santa Juana destacan masas boscosas los bosques de *Nothofagus* (Roble, Raulí, Coigüe) con un 2,71% del total de superficie de la IE. Otro ecosistema muy relevante y que se repite en varias ocasiones es el ecosistema humedal. Se destacan por su superficie el humedal Rocuant-Andalién, Humedal Lenga y la Laguna Epley en la Isla Santa María (**Figura 24**).

Figura 24. Infraestructura ecológica propuesta. Se distinguen áreas núcleo o AVE en verde oscuro y corredores en verde claro. Versión actualizada.

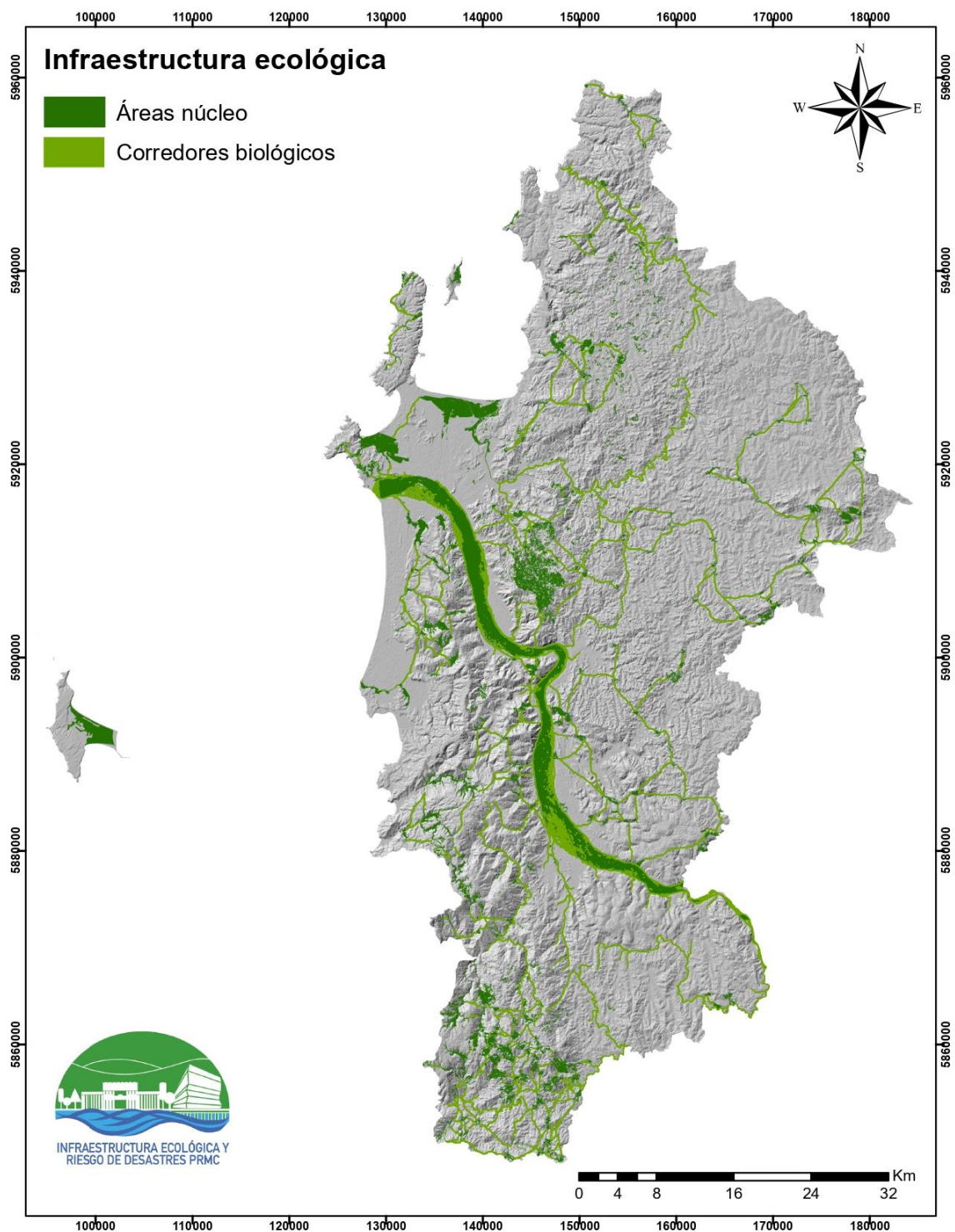


Tabla 14. AVE de la IE superiores a 200 ha.

N°	Elementos del paisaje >200 ha	Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje
1	Río Biobío	Agua	8750.69	37.22
2	PN Nonguén	Bosque nativo	1466.17	6.24
3	Humedal Rocuant-Andalién	Humedal	1237.29	5.26
4	Laguna Epley y Laguna Los Coltrabos	Humedal	713.74	3.04
5	Humedal Lenga	Humedal	680.19	2.89
6	Bosques de <i>Nothofagus</i> – Lota	Bosque nativo	299.77	1.27
7	Bosques de <i>Nothofagus</i> – Santa Juana	Bosque nativo	219.46	0.93
8	Laguna Grande San Pedro	Humedal	217.89	0.93
9	Bosques de <i>Nothofagus</i> – Santa Juana	Bosque nativo	214.32	0.91
10	Bosques de <i>Nothofagus</i> – Santa Juana	Bosque nativo	205.1	0.87

Por otro lado, existen también otros elementos del paisaje dentro de la IE que, a pesar de poseer superficies menores a 200 ha., sí poseen gran importancia y son reconocidos como sitios AVE. Por ejemplo, el humedal Boca Maule en Coronel y el humedal Los Batros en San Pedro de La Paz. Ambos humedales, a pesar de poseer un tamaño más pequeño y no lograr gran representatividad en la red, sí son sitios de alta relevancia tanto para biodiversidad, como para SSEE. Dentro de las coberturas boscosas se destacan los bosques de Queules y Pitaos en la comuna de Tomé.

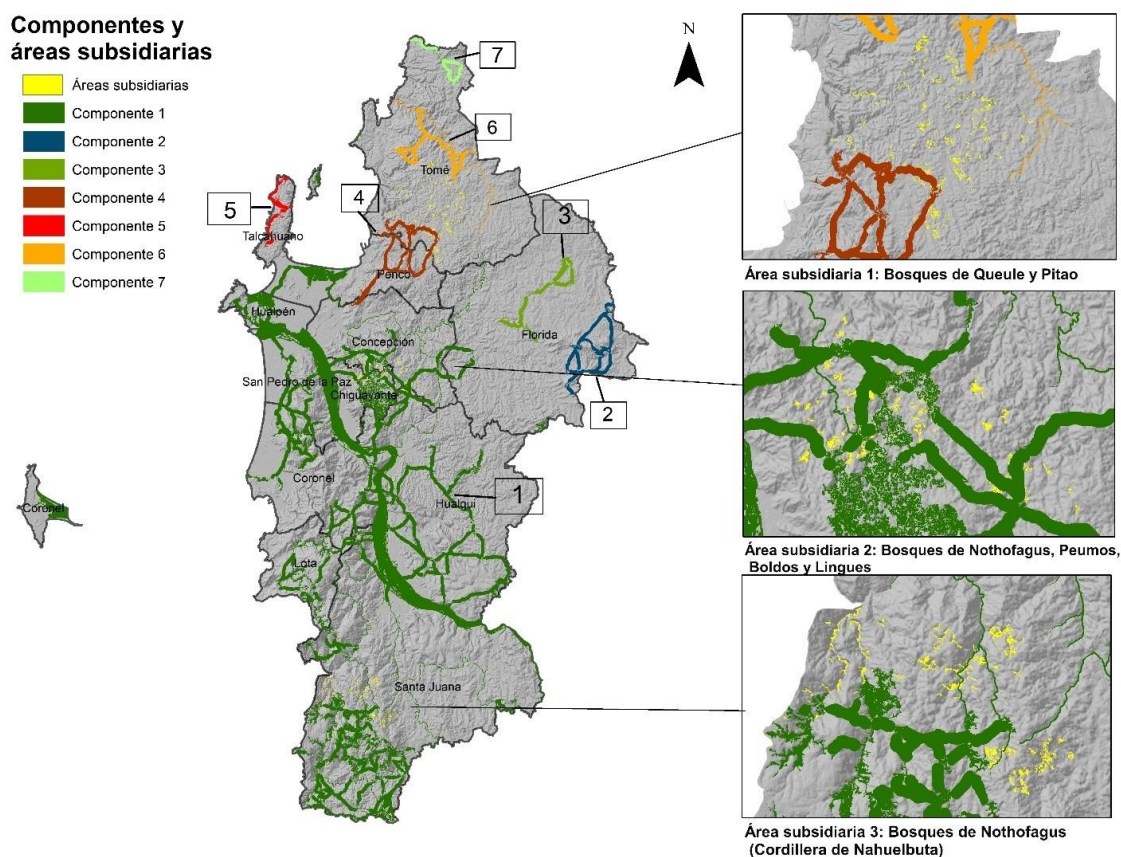
Respecto a la agrupación de áreas núcleo, se identificaron un total de 7 grandes componentes dentro de la IE. Se observa que el componente de mayor superficie es el 1 desde Talcahuano hasta Santa Juana (de norte a sur), abarcando 9 comunas y encontrándose en él los nodos de mayor tamaño como lo son los Humedales costeros y el Parque Nacional Nonguén (**Tabla 15**). El patrón espacial más relevante de este nodo es el río Biobío. Es de suma importancia considerar que este componente se encuentra unido en su totalidad debido a la presencia de *P. irwini* como especie focal, ya que existen AVE que no se conectan a través de sistemas terrestres y se mantienen agrupados a través de corredores acuáticos. Otro componente de suma relevancia es el 4, un área núcleo presente que se distribuye a lo ancho de dos comunas, Penco y Tomé. Se presenta aquí una oportunidad para el diseño de figuras de protección como las áreas verdes intercomunales.

También, es importante recalcar que el resto de los componentes tienen una baja densidad de nodos y corredores representando un porcentaje muy bajo del total de la superficie cubierta por el modelo de conectividad.

Tabla 15. Componentes de la IE identificados.

Componente	Superficie (ha)	Porcentaje del total	Cantidad de comunas	Comunas
1	45960	81.3	9	Ccp, Thno, Hualpén, Chiguayante, SP, Coronel, Hualqui, Lota, Santa Juana
2	2060	3.6	1	Florida
3	1286	2.3	1	Florida
4	2362	4.2	2	Penco-Tomé
5	654	1.2	1	Talcahuano
6	1878	3.3	1	Tomé
7	710	1.3	1	Tomé

Figura 25. Componentes de la IE y sus áreas subsidiarias. Este análisis fue desarrollado para la primera versión de IE.



Dentro de la IE existen áreas AVE que no están conectadas a estos componentes principales. Estas áreas, denominadas "áreas subsidiarias", se distinguen por su aislamiento respecto a los corredores prioritarios de la IE. A pesar de que estas áreas no se encuentran conectadas a los componentes principales, son prioritarias ya sea por su valor de biodiversidad, o bien, por poseer alta capacidad de provisión de servicios ecosistémicos.

En total, se identificaron tres grandes sitios de áreas subsidiarias en el área de estudio. La primera se ubica en la zona Norte del AMC, entre Tomé y Penco, y se compone de fragmentos de bosque nativo, con presencia de especies amenazadas (Queule y Pitao). Se encuentra entre los componentes 4 y 6 pero aislada de estos, lo que implica una desconexión ecológica que podría limitar la dispersión de especies y la continuidad de los procesos ecológicos en esta zona (**Figura 25**). En particular la priorización de esta área subsidiaria es explicada por su muy alto valor de biodiversidad (81%-96%) y una capacidad para proveer SSEE de alto a muy alto (64%-85%). Esta estimación fue utilizada para dilucidar la relevancia del área subsidiaria y comprender cuál es su valor.

La segunda área subsidiaria se encuentra al norte del Parque Nacional Nonguén y está compuesta por bosques de *Nothofagus*, con presencia de Peumos, Boldos y Lingues. Su ubicación le otorga importancia como posible zona de expansión y conexión ecológica futura con el componente mayor, considerando que presenta una gran riqueza de especies arbóreas endémicas y nativas. Esta área tiene una biodiversidad muy alta (85%-99%) y una provisión de SE de alto a muy alto (60%-96%).

La tercera área subsidiaria se encuentra al sur del área de estudio, en Santa Juana y representa un enclave de bosques de *Nothofagus* de la Cordillera de Nahuelbuta. Su aislamiento del resto de los componentes de la infraestructura ecológica subraya la necesidad de estrategias específicas para su conservación y posible integración futura a través de nuevos corredores ecológicos. Esta área presenta una biodiversidad muy alta (más del 90%) y una provisión de SE alta (63%-75%).

La identificación de estas áreas subsidiarias pone de manifiesto la necesidad de una planificación más detallada y específica para su conservación y posible integración en la IE completa. Si bien estas áreas no están actualmente conectadas a los componentes principales, su alto valor ecológico justifica la implementación de medidas para garantizar su protección y, en el futuro, su posible conexión.

La creación de corredores adicionales que puedan incluir estas áreas subsidiarias es un desafío que puede requerir la integración de otros instrumentos e iniciativas que permitan restaurar para establecer conectividad con el resto de la IE. Por otro lado, la conservación de estas áreas subsidiarias es sumamente relevante, considerando que dentro de estas zonas hay hábitat para especies amenazadas. Por lo mismo, considerar la restauración ecológica para conectarlas con el resto de la red de la IE es una iniciativa que favorecería a su conservación. Su integración efectiva en la infraestructura ecológica no solo aumentará la conectividad y la funcionalidad del paisaje, sino que también reforzará la capacidad de los ecosistemas para adaptarse y recuperarse ante perturbaciones.

3.3. ESTABLECER EL POTENCIAL SINÉRGICO ENTRE BIODIVERSIDAD Y LOS SSEE

Las sinergias entre biodiversidad surgen de la unión del mapa de zonas relevantes para la biodiversidad (23 indicadores) y los sitios de provisión de SSEE esenciales. Esta integración permite visualizar, desde una perspectiva espacial, diferentes grados de multifuncionalidad del paisaje. El análisis revela que una parte significativa del paisaje se encuentra en un estado de multifuncionalidad media a alta. Específicamente, la categoría de multifuncionalidad media abarca 127.821,44 hectáreas, representando el 36,85% del área total analizada. Este grado de multifuncionalidad indica que el paisaje posee una combinación equilibrada sitios de capacidad media para proveer SSEE y zonas medianamente relevantes para la biodiversidad. Estos sitios son favorables para mantener un equilibrio, pero sin duda, son sitios que podrían aumentar su multifuncionalidad fortaleciendo el capital natural. La multifuncionalidad alta se extiende sobre 69.459,21 ha., lo que corresponde a un 20,02% del área total. Este resultado es relevante, ya que sugiere que una quinta parte del paisaje tiene una capacidad para sostener tanto la biodiversidad como la provisión de SSEE esenciales. Particularmente, estas zonas pueden surgir desde la unión de zonas con media-alta o alta capacidad de proveer SSEE y zonas con biodiversidad muy altamente relevante, o viceversa, con sitios muy altamente capaces de proveer múltiples SSEE y sitios con indicadores de biodiversidad altamente relevante.

Por otro lado, las áreas con multifuncionalidad muy alta comprenden 17.267,49 ha, equivalentes al 4,98% del AMC. Estas zonas son de suma importancia debido a su muy elevada capacidad para ofrecer SSEE altamente demandados a escala metropolitana, mientras albergan elementos muy altamente relevantes para la biodiversidad. Tales áreas son vitales para la implementación de estrategias de conservación y para asegurar la resiliencia del paisaje ante cambios ambientales. Dentro de estas zonas destacan como humedales Rocuant-Andalién en Talcahuano y Penco y el humedal Los Batros, en San Pedro de la Paz. Por otro lado, bosques nativos como el Parque Nacional Nonguén y fragmentos de hábitat boscoso situados al sur del área de estudio también aportan al porcentaje de multifuncionalidad determinado. Es sumamente relevante mencionar que gran parte del 5% detectado como muy altamente funcional corresponde al río Biobío. Este elemento del paisaje fue reconocido como una estructura muy altamente relevante para la biodiversidad y, a su vez, muy altamente capaz de proveer múltiples SSEE.

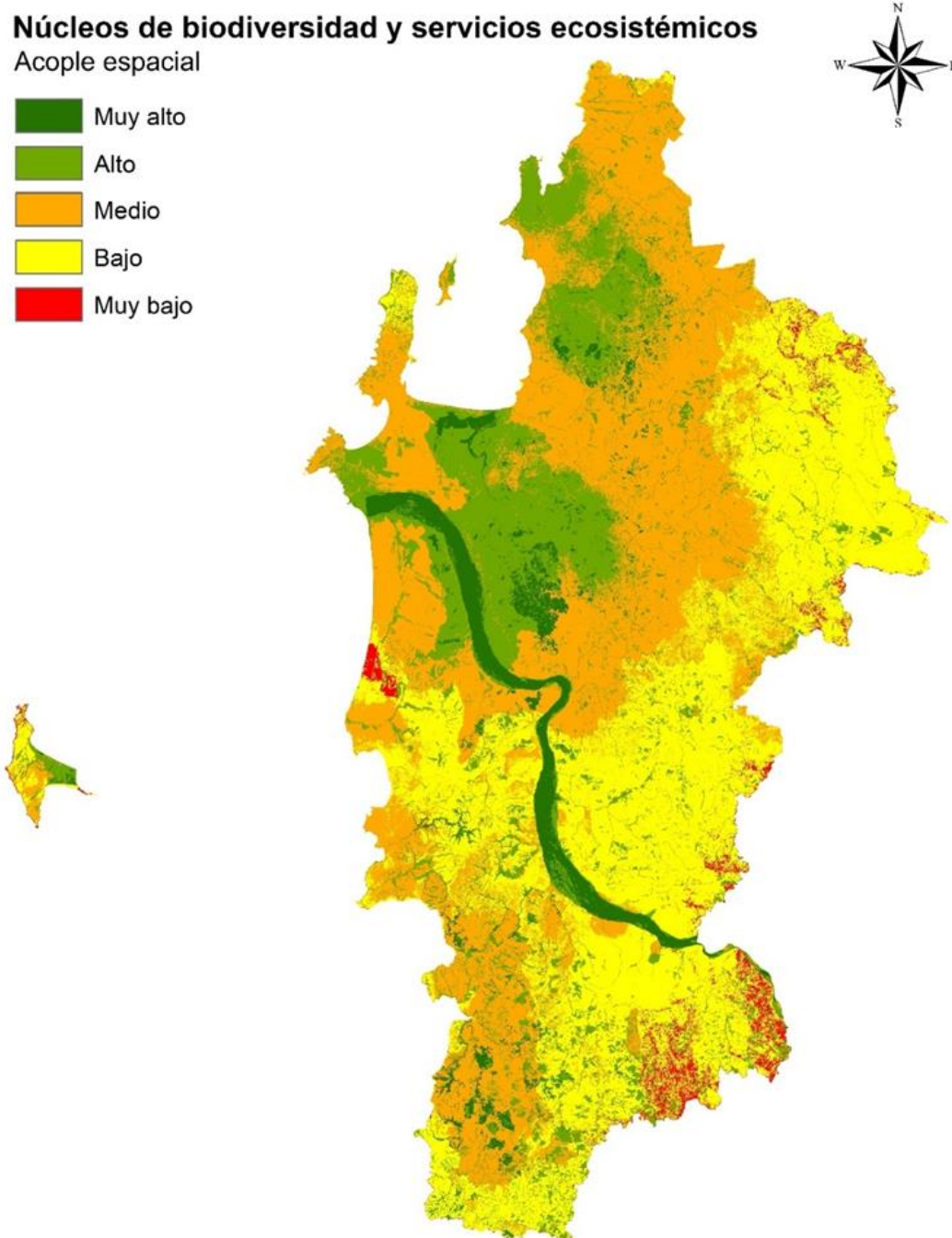
En contraste, se identificaron áreas con grados de multifuncionalidad bajos y muy bajos, que suman 123.332 ha. (36,13%) y 6.484,87 ha. (2,01%) respectivamente. Estas zonas podrían ser consideradas como áreas degradadas, un antecedente relevante al momento de plantearse medidas de acción en planificación territorial.

Tabla 16. Superficie y porcentaje según grados de multifuncionalidad.

Grado de multifuncionalidad	Sup. (ha)	%
Muy bajo	6484,87	2,01
Bajo	123332	36,13
Medio	127821,44	36,85

Grado de multifuncionalidad	Sup. (ha)	%
Alto	6945921	20,02
Muy alto	17267,49	4,98

Figura 26. Unión espacial entre áreas relevantes para la biodiversidad (Pilar II) y áreas de provisión de SSEE esenciales (Pilar III).



4. CAMBIO CLIMÁTICO

Las variables de cambio climático no fueron abordadas en la identificación, caracterización y propuesta de la IE. Este tópico será abordado en la siguiente etapa del proyecto, en un proceso que someterá la Infraestructura Ecológica a diferentes escenarios para los que se definirán reglas ambientales.

5. CONCLUSIONES

La identificación de componentes de la biodiversidad en el AMC mostró una mayor cantidad de componentes en niveles inferiores de organización, con 18 especies, 11 comunidades, y 7 ecosistemas identificados. Sin embargo, la importancia relativa de estos componentes no sigue una jerarquía estricta. Los actores locales mostraron un enfoque notable en el nivel ecosistémico, especialmente en los humedales y bosques nativos, que representaron el 74% de las menciones de ecosistemas y el 44% de las menciones totales.

A nivel provincial, el modelo de conectividad multi-especie incluyó 256 nodos y 149 corredores, abarcando una superficie significativa en todas las comunas. Este modelo destacó la importancia de ecosistemas como el Parque Nacional Nonguén y diversos humedales, subrayando la necesidad de planificación y conservación específicas para estas áreas.

Los indicadores de biodiversidad reflejaron una alta relevancia de zonas cercanas al área metropolitana, con énfasis en humedales y bosques nativos que albergan especies amenazadas. El modelo de riesgo de hábitat reveló niveles altos de riesgo debido a amenazas en los límites de los ecosistemas, destacando la vulnerabilidad de áreas como el Parque Nacional Nonguén y el Humedal Rocuant-Andalién.

En cuanto a los servicios ecosistémicos, se modelaron nueve indicadores espaciales, mostrando una baja capacidad de provisión en áreas urbanas transformadas, pero alta en zonas como el Parque Nacional Nonguén y los humedales Rocuant-Andalién y Los Batros. Esto resalta la importancia de estos ecosistemas para la provisión de servicios demandados.

La propuesta de IE identificó que un 7% del AMC corresponde a áreas AVE, con el Río Biobío y el Parque Nacional Nonguén como elementos destacados. Se identificaron siete grandes componentes dentro de la IE, con el componente que abarca desde Talcahuano hasta Santa Juana como el más extenso.

Finalmente, se estableció el potencial sinérgico entre biodiversidad y servicios ecosistémicos, a través de la evaluación multifuncionalidad del paisaje. Áreas como los humedales Rocuant-Andalién y Los Batros, y el Parque Nacional Nonguén, presentaron alta capacidad para sostener tanto la biodiversidad como provisión de múltiples SSEE esenciales para los habitantes del AMC, subrayando su relevancia para la conservación y resiliencia del paisaje ante cambios ambientales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arkema, K. K., Verutes, G., Bernhardt, J. R., Clarke, C., Rosado, S., Canto, M., Wood, S. A., Ruckelshaus, M., Rosenthal, A., & McField, M. (2014). Assessing habitat risk from human activities to inform coastal and marine spatial planning: a demonstration in Belize. *Environmental Research Letters*, 9(11), 114016.
- Balvanera, Patricia & Siddique, Ilyas & Dee, Laura & Paquette, Alain & Isbell, Forest & Gonzalez, Andrew & Byrnes, Jarrett & O'Connor, Mary & Hungate, Bruce & Griffin, John. (2014). Linking Biodiversity and Ecosystem Services: Current Uncertainties and the Necessary Next Steps. *BioScience*. 64. 49-57. 10.1093/biosci/bit003.
- Bateman, I.J., Harwood, A.R., Mace, G.M., et al. (2013). Bringing Ecosystem Services into Economic Decision-Making. *Science*, 341(6141), 45–53. DOI: 10.1126/science.1235474
- Carroll, Carlos & McRae, Brad & Brookes, Allen. (2012). Use of Linkage Mapping and Centrality Analysis Across Habitat Gradients to Conserve Connectivity of Gray Wolf Populations in Western North America. *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology*. 26. 78-87. 10.1111/j.1523-1739.2011.01753.x.
- Cimon-Morin, J., Darveau, M., & Poulin, M. (2013). Fostering synergies between ecosystem services and biodiversity in conservation planning: A review. *Biological Conservation*, 166, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.06.023>
- Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Bode, M., & Richardson, D. M. (2009). Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biological Conservation*, 142(3), 553–562. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.11.009>
- Esquivel, Jocelyn & Echeverría, Cristian & Saldaña, Alfredo & Fuentes, Rodrigo. (2020). High functional diversity of forest ecosystems is linked to high provision of water flow regulation ecosystem service. *Ecological Indicators*. 115. 10.1016/j.ecolind.2020.106433.
- Etherington, T. R. (2016). Least-Cost Modelling and Landscape Ecology: Concepts, Applications, and Opportunities. *Current Landscape Ecology Reports*, 1(1), 40-53. <https://doi.org/10.1007/s40823-016-0006-9>
- Fürst, C., Frank, S., Witt, A., Koschke, L., & Makeschin, F. (2013). Assessment of landscape aesthetics: Validation of a landscape metrics-based assessment. *GISCALE*.
- Fürst, C., Lorz, C., & Makeschin, F. (2011). Integrating land management aspects into an assessment of the impact of land cover changes on ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 7(3), 145-155.
- Fürst, Christine & Frank, Susanne & Jiménez Martínez, Marcos & Rozas, Daniel & Pietzsch, Katrin & Pietzsch, Frank. (2016). How to assess the impact of agricultural and forest management on biodiversity and ecosystem services. 10.4337/9781783478996.00015.

Haines-Young, Roy & Potschin-Young, Marion. (2010). The links between biodiversity, ecosystem service and human well-being. 10.1017/CBO9780511750458.007.

Harrison, P.A. & Berry, P. & Simpson, Gillian & Haslett, J.R. & Blicharska, Malgorzata & Bucur, M. & Dunford, Robert & Egoh, Benis & Garcia Llorente, Marina & Geamana, Nicoleta & Geertsema, W. & Lommelen, Els & Meiresonne, Linda & Turkelboom, Francis. (2014). Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*. 9. 10.1016/j.ecoser.2014.05.006.

Jato-Espino, Daniel & Capra-Ribeiro, Fabio & Moscardó, Vanessa & Bartolome del Pino, Leticia E. & Mayor-Vitoria, Fernando & Gallardo, Laura & Carracedo, Patricia & Dietrich, Kristin. (2023). A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*. 86. 127998. 10.1016/j.ufug.2023.127998.

Koo, Hongmi & Kleemann, Janina & Fürst, Christine. (2019). Impact assessment of land use changes using local knowledge for the provision of ecosystem services in northern Ghana, West Africa. *Ecological Indicators*. 103. 156-172. 10.1016/j.ecolind.2019.04.002.

Kukkala, Aija & Moilanen, Atte. (2012). Core concepts of spatial prioritisation in systematic conservation planning. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 88. 10.1111/brv.12008.

Lai, Sabrina & Zoppi, Corrado & Isola, Federica & Leone, Federica. (2022). Green Infrastructure and Regional Planning: An Operational Framework.

Liquete, C., Kleeschulte, S., Dige, G., Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., & Zulian, G. (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science & Policy*, 54, 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.009>

Margules, Chris & Pressey, Robert. (2000). Systematic Conservation Planning. *Nature*. 405. 243-253. 10.1038/35012251.

McRae BH, Beier P. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007 Dec 11;104(50):19885-90. doi: 10.1073/pnas.0706568104. Epub 2007 Dec 3. PMID: 18056641; PMCID: PMC2148392.

Moilanen, Atte & Wilson, Kerrie & Possingham, Hugh. (2009). Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools. 10.1093/oso/9780199547760.001.0001.

Norris, Ken & Fitter, Alastair. (2011). Mace GM, Norris K, and Fitter AH. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol Evol*. Trends in ecology & evolution. 27. 19-26. 10.1016/j.tree.2011.08.006.

Posner, S.M., McKenzie, E., & Ricketts, T.H. (2016). Policy Impacts of Ecosystem Services Knowledge. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(7), 1760-1765. DOI: 10.1073/pnas.1502452113

Sarkar, Sahotra & Illoldi, Patricia. (2010). Systematic Conservation Planning: an Updated Protocol. *Natureza & Conservacao - NAT CONSERVACAO*. 08. 19-26. 10.4322/natcon.00801003.

Shah, Viral & McRae, Brad. (2008). Circuitscape: A Tool for Landscape Ecology. *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*. 62-66.

Sharp, R., Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., & Olwero, N. (2014). InVEST user's guide. *The Natural Capital Project: Stanford, CA, USA*, 306.

Vacik, Harald & Borges, J. & Garcia-Gonzalo, Jordi & Eriksson, Ljusk. (2015). Decision Support for the Provision of Ecosystem Services under Climate Change: An Editorial. *Forests*. 6. 3212-3217. 10.3390/f6093212.

Villarreal Rosas, Jaramar & Sonter, Laura & Runting, Rebecca & Lopez-Cubillos, Sofia & Dade, Marie & Possingham, Hugh & Rhodes, Jonathan. (2020). Advancing Systematic Conservation Planning for Ecosystem Services. *Trends in ecology & evolution*. 35. 10.1016/j.tree.2020.08.016.

Villarreal Rosas, Jaramar & Sonter, Laura & Runting, Rebecca & Lopez-Cubillos, Sofia & Dade, Marie & Possingham, Hugh & Rhodes, Jonathan. (2020). Advancing Systematic Conservation Planning for Ecosystem Services. *Trends in ecology & evolution*. 35. 10.1016/j.tree.2020.08.016.

Wang, Y., Chang, Q., & Fan, P. (2021). A framework to integrate multifunctionality analyses into green infrastructure planning. *Landscape Ecology*, 36(7), 1951–1969. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01058-w>

Watson, H.J., & Sprague, R.H. (1993). *Decision Support Systems: Putting Theory into Practice*. Prentice-Hall.

Zeller, Katherine & McGarigal, Kevin & Whiteley, Andrew. (2012). Estimating landscape resistance to movement: A review. *Landscape Ecology*. 27. 10.1007/s10980-012-9737-0.

Zuluaga, C., Jaime, G., Muñoz, V., Luis, J., Zuluaga, M., & Natalia, I. (2017). Modelo De Conectividad Ecológica De Fragmentos De Bosque Andino En Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 379-393. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>

7. ANEXOS

Anexo A Listado de expertos consultados para la selección de especies focales

Experto	Área	Institución
Cristóbal Pizarro	Aves	UdeC
Claudio Valdovinos	Crustáceos	UdeC
Evelyn Habit	Ictiofauna	UdeC
Daniel Aguilera	Invertebrados	UdeC
Viviane Jerez	Invertebrados	UdeC
Raúl Briones	Invertebrados	Arauco
Cristian Echeverría	Mamíferos	UdeC
Darío Moreira	Mamíferos	USACH
Paula Aravena	Mamíferos	SERFEFA - UdeC
Gloria Rodríguez	Mamíferos	USACH
Nicolás Gálvez	Mamíferos	UC Villarrica
Gonzalo Torres	Mamíferos	Chumaihue
Claudio Correa	Anfibios/ Reptiles	UdeC