

UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

***ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA ISLA ROBINSON CRUSOE***

Archipiélago de Juan Fernández, Región de Valparaíso, Chile

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

MARÍA JOSÉ FAÚNDEZ GARRIDO

Profesor guía: Rodrigo Vargas Rona, Geógrafo

SANTIAGO-CHILE, 2014

*“¿Qué es ese libro tan gordo? –Inquirió el principito- ¿Qué hace usted aquí?
-Soy geógrafo –explicó el señor viejo.
-¿Qué es un geógrafo?
-Es un sabio que sabe dónde se encuentran los mares, los ríos, las ciudades, las
montañas y los desiertos.
-Esto sí que es interesante –dijo el principito- ¡Esto sí que es un verdadero oficio!”*

El Principito, Antoine De Saint-Exupery.

En verdad si sigue el maqui propagándose de esta manera i no sobreviene alguna peste que ponga fin a su existencia o lo reduzca enormemente, dentro de unos decenios más la isla de Masatierra se habrá transformado en un gran macal, i en balde se buscarán en ella los hermosos bosques vírjenes que todavía existen en su interior, i que ántes la cubrían desde la costa hasta la cumbre de los cerros”

F. Johow, 1896.

Quisiera dedicar este trabajo a la memoria de las víctimas del tsunami del 27 de Febrero del 2010 y a sus familias.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera en primer lugar, agradecer el apoyo incondicional de mi familia (mis hermanos Juani, Marce, Migue, Jorge y Ricardo, los que me dieron un gran ejemplo humano y profesional), en especial quiero agradecer a la gran mujer que es mi madre Juana, quien desde siempre fomento en mi la inquietud de aprender y estudiar, apoyándome en cada una de mis experiencias y sobre todo siendo una valiente que nos entrego todas las herramientas para perseverar y seguir nuestros sueños. Por otro lado, quiero agradecer a Pablo, mi compañero de vida, quien me apoya diariamente, dándome fuerza, alegría y sobre todo un inmenso e incondicional amor, que sobre pasa cualquier dificultad.

Además quisiera agradecer a las grandes amistades que construí en la vida universitaria, Fabiola, Pauli y Elias, quienes se transformaron en grandes amigos hasta hoy. También quisiera agradecer a los grandes amigos que obtuve en mis viajes a la isla bonita, con quienes viví una de las experiencias más enriquecedoras de mi vida Gigi, Chipi, Diego, Isa y Rodrigo, gracias por el apoyo en todos los momentos.

En especial, quisiera agradecer a mi mentora Ceci, por su confianza, ya que me dio la oportunidad de trabajar en su equipo multidisciplinario, sobre todo por incluirme en este proyecto que busca recuperar uno de los lugares más vulnerables y de mayor biodiversidad del país. Estoy muy agradecida de todo lo enseñado por Ceci durante el desarrollo de éste trabajo, tanto a nivel profesional como personal.

Además quiero agradecer a mi profesor guía Rodrigo Vargas, quien fue un inspirador durante el pregrado en mi interés sobre la conservación de la naturaleza, sobre todo por su valor intrínseco, gracias por apoyarme en este proyecto y enseñarme parte de su experiencia.

No puedo dejar fuera de estos agradecimientos, al cuerpo de guardaparques y al administrador del Parque Nacional Archipiélago Juan Fernández (Ramón Schiller, Oscar Chamorro, Bernardo López, Guillermo Araya, Manuel Tobar, Jorge Angulo, Danilo Arredondo, Mascimiliano Recabarren, Alfonso Andaur y Don Ivan Leiva), también a la señora Silvita, quienes me cuidaron como una familia, me apoyaron y enseñaron parte de su gran conocimiento sobre el archipiélago. Muchas gracias a todos por la oportunidad, la confianza y por brindarme un espacio dentro de su equipo de trabajo, fueron muchas horas de terreno y experiencias que siempre recordare. Ustedes son parte fundamental de la vida del archipiélago.

Finalmente, quiero agradecer al Instituto de Ecología y Biodiversidad de la Universidad de Chile por el financiamiento de este trabajo y por la oportunidad de asistir a diferentes cursos e instancias académicas a presentar algunos de sus resultados.

RESUMEN

En la actualidad el archipiélago de Juan Fernández, enfrenta un gran problema ambiental determinado por la gran tasa de invasión biológica de especies vegetales, esencialmente las *3M*: *maqui*, *mora* y *murta*. Al combinarse esta distribución, que amplía su rango año a año, más el alto endemismo por unidad de superficie y el alto porcentaje de especies en peligro de extinción, nace la necesidad de emprender acciones de manera urgente para asistir al sistema frente a la dura competencia que se desarrolla en el hábitat de las especies originarias. En Plazoleta el Yunque (Robinson Crusoe, IRC) se han llevado a cabo medidas de control de plagas vegetales, mediante el control de maqui y mora en los claros del bosque. Este proceso ha resultado positivo para la regeneración del bosque, por lo que se proyecta la misma intervención hacia otros sectores invadidos. La gran superficie ocupada por matorral invasivo en IRC, hace inminente priorizar las áreas a intervenir, las cuales deben cumplir con ciertos requisitos y restricciones, basados en el objetivo de restauración. Se seleccionaron como criterios los factores riqueza de especies, abundancia por especie, coberturas vegetales, conservación *ex situ* y distribución del matorral de las 3M, y como limitante los rangos de pendiente, debido a los riesgos de erosión. Todos fueron integrados en un modelo de decisión multicriterio basado en el método de sumatoria lineal ponderada, que asocia los valores óptimos de localización para cada criterio, mediante álgebra de mapas. Se seleccionaron como sitios prioritarios a intervenir las siguientes microcuencas hidrográficas: Puerto Inglés, Villagra, Quebrada Colonial, Piedra con Letras, Quebrada de Lord Andson, Quebrada El Palillo y el Pangal.

Palabras claves: Invasión, endemismo, peligro de extinción, áreas prioritarias, evaluación multicriterio, restauración ecológica.

SIGLAS

AJF: Archipiélago de Juan Fernández

PNAJF: Parque Nacional Archipiélago de Juan Fernández

IRC: Isla Robinson Crusoe

IAS: Isla Marinero Alejandro Selkirk

ISC: Isla Santa Clara

PNC: Plan Nacional de Conservación de Especies Endémicas Prioritarias

SIG: Sistemas de información geográfica

EMC: Evaluación multicriterio

CONAF: Corporación Nacional Forestal

IREN: Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales

RCE: Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres

3M: Maqui, mora y murta

MMA: Ministerio de Medio Ambiente

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

INDICE

CAPÍTULO 1:.....	10
INTRODUCCIÓN, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.....	10
1. Introducción	11
2. Planteamiento del problema.....	12
2.1 Caracterización general del área de estudio	14
3. Objetivos	16
3.1 Objetivo general.....	16
3.2 Objetivos específicos	16
CAPÍTULO 2:.....	17
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	17
4. Marco teórico	18
4.1 El concepto de restauración ecológica.....	18
4.2 La extinción de especies.....	18
4.3 Planificación ecológica, ecología de paisaje y su relación con la geografía.	19
4.4 El paisaje como unidad de análisis	19
4.5 Situación de la diversidad biológica mundial.....	21
5. Marco conceptual.....	21
5.1 Ecosistemas	21
5.2 Biodiversidad	22
5.3 Endemismo.....	23
5.4 Invasiones biológicas.....	24
5.5 Áreas silvestres protegidas	24
5.6 Hotspot de biodiversidad	24
CAPÍTULO 3:.....	26
MARCO METODOLÓGICO	26
6. Planteamiento metodológico	27
6.1 Estructura metodológica	28
6.2 Etapa 1: Antecedentes y catastro	29
i. Ficha de antecedentes de especies endémicas prioritarias:	30
ii. Caracterización ambiental:	30
iii. Base de datos de las especies de flora de la IRC:	30

iv.	Localización preliminar de especies prioritarias:	31
6.3	Etapa 2: Terreno, verificación y obtención de antecedentes	31
6.4	Etapa 3: Definición de áreas, integración y estandarización de datos	33
i.	Definición de unidad de análisis.....	36
ii.	Asignación de atributos y estandarización de criterios por unidad de análisis espacial	40
iii.	Análisis integrado de criterios	40
CAPÍTULO 4:.....		43
RESULTADOS		43
7.	Caracterización del área de estudio para la identificación de criterios.....	44
7.1	Medio ambiente físico.....	44
i.	Clima y meteorología.....	44
ii.	Sistema hídrico.....	45
iii.	Geología y geomorfología.....	46
iv.	Suelos	50
7.2	Medio ambiente biótico.....	52
i.	Vegetación.....	52
ii.	Fauna	58
7.3	Medio humano.....	60
i.	Antecedentes generales	60
8.	Selección de criterios (factores y limitantes) para la identificación de áreas prioritarias.....	62
8.1	Los Factores: localización de flora endémica y flora invasora.....	63
8.2	Las limitantes: pendiente	65
9.	Descripción e integración de factores y limitantes en un modelo de decisión multicriterio.	66
9.1	Diseño del modelo de decisión multicriterio	66
9.2	Estandarización de valores para criterios de localización	68
9.3	Descripción e integración de criterios (factores y limitantes).....	71
i.	Riqueza de especies amenazadas	72
ii.	Abundancia por especie	73
iii.	Coberturas vegetales.....	74
iv.	Conservación <i>ex situ</i>	75
v.	Distribución de especies invasoras.....	76

vi. Pendiente	77
vii. Análisis integrado de los factores y limitantes de localización para la identificación de las áreas prioritarias.	78
CAPÍTULO 5:.....	83
DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
10. Discusión	84
11. Conclusiones.....	86
12. Recomendaciones	88
BIBLIOGRAFÍA:.....	89

Lista de figuras

<i>Figura 1. Invasión por maqui, mora y murta</i>	13
<i>Figura 2. Localización referencial del área de estudio.....</i>	15
<i>Figura 3. Mosaico de paisaje en la isla Robinson Crusoe</i>	20
<i>Figura 4. Endemismos en el AJF</i>	23
<i>Figura 5. Hotspots de biodiversidad a nivel mundial</i>	25
<i>Figura 6. Estructura metodológica</i>	28
<i>Figura 7. Sistema de integración de EMC y SIG</i>	35
<i>Figura 8. Unidad de análisis.....</i>	38
<i>Figura 9. Modelo espacial de integración.....</i>	41
<i>Figura 10. Macizos estratificados de la isla Robinson Crusoe.....</i>	47
<i>Figura 11. Rangos altitudinales en IRC.....</i>	48
<i>Figura 12. Pendiente en IRC.....</i>	49
<i>Figura 13. Bosque nativo bajo</i>	53
<i>Figura 14. Bosque nativo de altura</i>	53
<i>Figura 15. Asociación de Rubus-Aristotelia.....</i>	54
<i>Figura 16. Matorral de Ugni molinae</i>	54
<i>Figura 17. Plantaciones forestales.....</i>	55
<i>Figura 18. Vegetación herbácea</i>	56
<i>Figura 19. Sin vegetación</i>	56
<i>Figura 20. Coberturas vegetales IRC.....</i>	57
<i>Figura 21. Fauna endémica del AJF</i>	59
<i>Figura 22. Fauna introducida</i>	60
<i>Figura 23. Asentamientos humanos.....</i>	61
<i>Figura 24. Especies con menor abundancia de ejemplares y en peligro de extinción</i>	65
<i>Figura 25. Ejemplo de claro tratado en pendiente pronunciada.....</i>	66
<i>Figura 26. Modelo de decisión multicriterio</i>	68
<i>Figura 27. Distribución de riqueza de especies amenazadas.....</i>	72
<i>Figura 28. Distribución según abundancia</i>	73

<i>Figura 29. Distribución según superficie de coberturas vegetales nativas.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 30. Distribución de especies según su éxito de reproducción ex situ</i>	<i>75</i>
<i>Figura 31. Distribución de especies invasoras según rangos de superficie</i>	<i>76</i>
<i>Figura 32. Distribución de rangos de pendiente y su relación con el riesgo de erosión</i>	<i>77</i>
<i>Figura 33. Áreas de alto potencial para ser restauradas, sin restricciones por riesgo de erosión y pendiente.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 34. Áreas prioritarias con evaluación de restricciones para su selección</i>	<i>81</i>

Lista de tablas

<i>Tabla 1. Ejemplo de ficha desarrollada en terreno</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2. Microcuencas hidrográficas del área de estudio.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3. Combinación de valores para selección de áreas prioritarias</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4. Especies del plan nacional de conservación</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 5. Criterios seleccionados: factores (F) y limitantes (L).</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 6. Lista priorizada de especies endémicas.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 7. Estandarización de valores para coberturas.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 8. Rangos de pendiente y procesos de erosión.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 9. Superficie de áreas prioritarias sin aplicación de restricciones.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 10. Superficie de áreas prioritarias considerando áreas restringidas por pendiente</i>	<i>81</i>

CAPÍTULO 1:

**INTRODUCCIÓN, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y
OBJETIVOS**

1. Introducción

Los ecosistemas insulares son ambientes espacialmente restringidos, representan sistemas biológicos muy particulares, debido principalmente a su condición de aislamiento biogeográfico (Davis, 2003). Lo cual determina que usualmente se desarrollen grandes centros de endemismo a diferentes niveles taxonómicos, transformándose en ecosistemas muy relevantes en el contexto de la biodiversidad mundial (Myers *et al.*, 2000). Esta condición de aislamiento, hizo que las especies biológicas se desarrollaran sin mayor competencia, generando así una mayor susceptibilidad a la introducción de especies y a alteraciones producidas por el hombre (Loope & Mueller-Dombois, 1989).

Las invasiones biológicas por otro lado, son definidas como un fenómeno en el cual las especies expanden sus rangos de distribución, colonizando sectores en donde previamente no se encontraban (Kolar y Lodge, 2001). A nivel mundial, la invasión biológica de los hábitats por especies alóctonas es reconocida como uno de los propulsores más importantes de los cambios bióticos globales (Mooney y Hobbs, 2000) y la segunda amenaza para el funcionamiento ecosistémico (Sala *et al.*, 2000).

Muchos sistemas insulares alrededor del globo se han visto afectados por estas problemáticas, siendo las invasiones biológicas de particular preocupación (Denslow, 2003). Las especies exóticas alteran los ciclos naturales y aceleran la degradación de las singularidades ecológicas de cada sistema, disminuyendo las poblaciones de especies endémicas, fragmentando hábitats, acelerando procesos erosivos, disminuyendo su singularidad composicional y homogeneizando el paisaje (Castro y Jaksic, 2008).

Actualmente existen diversos estudios y literatura referida al problema de alteración antrópica de los hábitats e invasiones biológicas, sin embargo, existen pocos estudios desde el punto de vista espacial relacionados con la priorización de intervención, es decir sobre la selección de territorios, áreas, lugares o sitios. Cuando los recursos para asistir a los sistemas alterados son limitados y las necesidades de intervención para restauración biológica cubren amplios paisajes, es fundamental identificar sectores donde localizar y comenzar la intervención.

Dado lo anterior surge la temática de este trabajo, el que tiene como finalidad determinar para una isla del Océano Pacífico Sur, la Isla Robinson Crusoe, que es parte del archipiélago de Juan Fernández, aquellas áreas prioritarias para la restauración ecológica del hábitat de especies endémicas con problemas de extinción.

La idea original es aportar de manera aplicada, desde un análisis geográfico, a la conservación y restauración del hábitat de aquellas especies que están al borde de la extinción. Es importante multiplicar esfuerzos en aquellas áreas que sean detectadas como potenciales para realizar control de plantas invasoras, dirigidas a la recuperación de las condiciones originales del ecosistema insular.

2. Planteamiento del problema

Los ecosistemas insulares representan sistemas de gran riqueza biológica, ya que albergan especies que han evolucionado de forma aislada y restringida (Greimler *et al.*, 2002, Cuevas *et al.*, 2004). En particular el archipiélago de Juan Fernández se caracteriza por ser un ecosistema que contiene una significativa diversidad de especies, donde se alberga un importante porcentaje de endemismo, transformándolo en un centro mundial de biodiversidad. En las islas del archipiélago se concentran más del 5% de las especies de flora vascular de Chile, en tan sólo el 0,01% del territorio nacional (Marticorena, 1990). La representación de su gran riqueza biológica está expresada en la presencia total para todo el archipiélago de 213 taxones nativos de los cuales 135 (64,3%) son endémicos estrictos y 2 (0,9%) endémicos de Chile (Danton y Perrier, 2006). Al considerar el reducido tamaño del archipiélago (9.967 ha), el número de especies endémicas por unidad de área es mayor que en cualquier otro sistema insular del mundo (Stuessy, 1992).

En el año 1935 el conjunto de islas fueron declaradas Parque Nacional, bajo el Decreto N° 103, del Ministerio de Tierras y Colonización. En el año 1972 la Corporación Nacional Forestal (CONAF) es mandatada para la administración del Parque. En 1977 se declara el archipiélago “Reserva Mundial de la Biosfera” por la UNESCO, lo que permitió reconocer a esta área como representativa a nivel global, pretendiendo alcanzar con ello, el cumplimiento de objetivos que promovieran la conservación y la protección de la biodiversidad. Así mismo, el archipiélago a nivel internacional es considerado por instituciones como Durrell Conservation Trust, World Wildlife Foundation y Bird Life International una de las prioridades mundiales de conservación, debido a su nivel de endemismo por superficie y alta amenaza.

La problemática que promueve la realización de este trabajo se asocia a esta gran relevancia natural descrita, sumada a la presencia de un grave problema de invasión biológica y a extinciones progresivas de especies (Cuevas y Van Leersum, 2001; Greimler *et al.*, 2002; Dirnböck *et al.*, 2003; Cuevas *et al.*, 2004). Especies introducidas fueron llevadas, intencionalmente o no, al archipiélago poco después de su descubrimiento en 1574. Dichas especies tuvieron un fuerte aumento poblacional a lo largo de los años hasta la actualidad, donde se observan de manera consolidada en muchos lugares del archipiélago. Específicamente 2 son las especies de animales que más daño han causado: *Oryctolagus cuniculus* (conejo) y *Capra hircus* (cabra), y 2 las especies de plantas (CONAF, 2009; Vargas y Reif, 2009; Smith-Ramírez *et al.*, 2013), estas son: *Aristotelia chilensis* (maqui) y *Rubus ulmifolius* (zarzamora).

Federico Johow en el año 1896 estimó que para un total de 238 taxones, 143 fueron nativos (69 endémicos) y 95 introducidos. Actualmente, según el catastro de flora vascular realizado por Danton y Perrier en el año 2006, se estima que de un total de 716 taxones de flora descritos, 503 (70,3%) serían introducidos, reflejando un exponencial avance aproximado del 30% de especies introducidas (Danton & Perrier, 2006). Estas diferencias

son considerables, ya que los taxones en un poco más de 100 años fueron triplicados, disminuyendo el porcentaje de especies nativas y aumentando el número de especies introducidas.

Actualmente, las tres plagas vegetales principales en las islas Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk son maqui, mora y *Ugni molinae* (murta) (ver Figura 1), que corresponden a especies invasoras, definidas así por su abundancia y dominio en el ambiente insular. Estas se reproducen fácilmente, adquiriendo el potencial de propagarse, ocupando y reemplazando los hábitats naturales fácilmente. Las plantas invasoras incluso pueden alterar características ecológicas y físicas de los ecosistemas alterados (Quiroz *et al.*, 2009).

La realidad del archipiélago está determinada por un fuerte y peligroso avance o tasa de expansión de especies invasoras, lo que determina una expansión de sus tamaños poblaciones y cobertura (Dirnböck *et al.*, 2003; Díaz, 2013). Las especies invasoras tienen mayor capacidad competitiva que las nativas (Smith-Ramírez *et al.*, 2013), por otra parte las especies nativas no presentan la capacidad de resiliencia necesaria para resistir esta dinámica.

Figura 1. Invasión por maqui, mora y murta



*En verde claro: invasión por matorral de maqui y mora, en los filos (verde oscuro a café) invasión por murta.

Fuente: Archivo fotográfico de terreno, año 2010

En la problemática de este estudio, adquiere gran relevancia la identificación de las áreas donde se encuentran y conviven las especies introducidas invasoras con las especies de plantas amenazadas. Esta información permitirá multiplicar esfuerzos donde la necesidad de intervención para restauración ecológica sea urgente.

2.1 Caracterización general del área de estudio

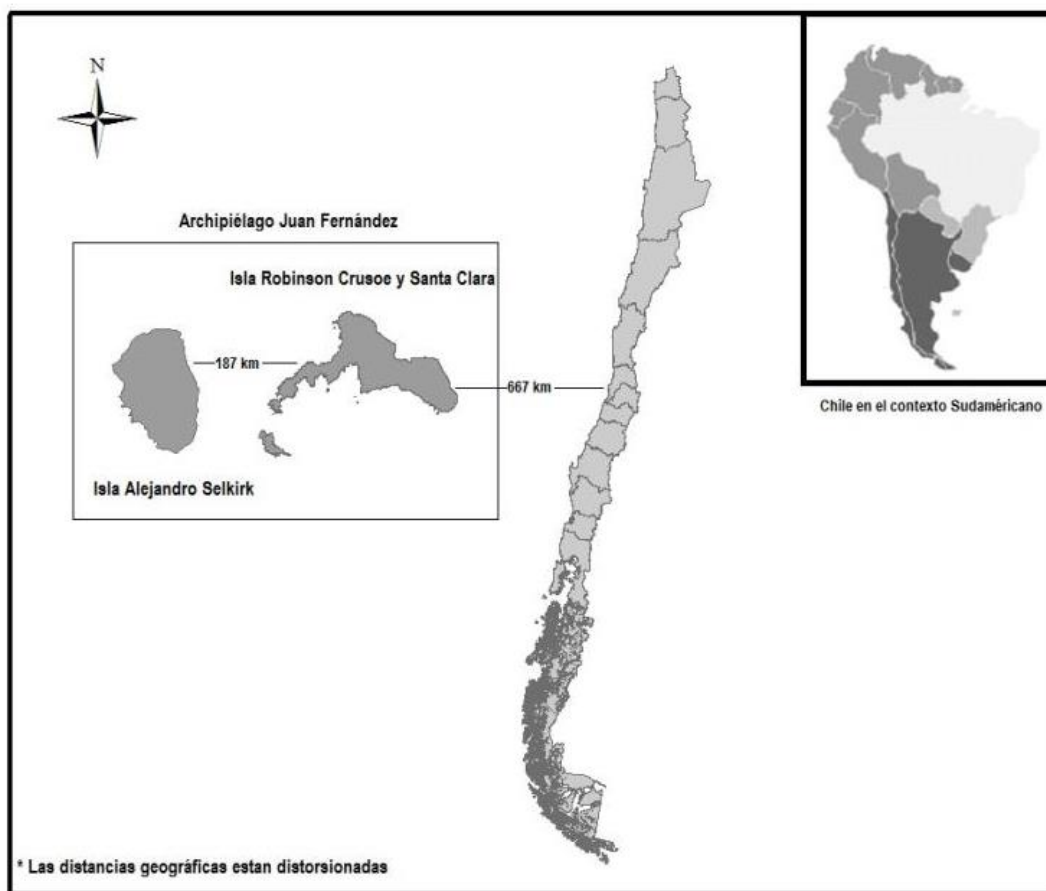
El archipiélago de Juan Fernández está ubicado en el Océano Pacífico frente al puerto de San Antonio a 667 km del territorio continental, entre los 33° 35' - 33° 48' de latitud Sur y desde los 78° 46' - 80° 48' de longitud Oeste (ver Figura 2). Está compuesto por tres islas: *Robinson Crusoe* (IRC) que alcanza una extensión de 4.793,2 ha, *Santa Clara* (SC) de 221, 06 ha y *Marinero Alejandro Selkirk* (IAS) de 4.952,05 ha (IREN, 1982). En su totalidad el archipiélago alcanza una superficie de 9.966,91 ha de las cuales 9.579, 55 ha (96,1%), representan la superficie total del Parque Nacional Archipiélago de Juan Fernández (PNAJF)¹. Del Parque están excluidas aquellas áreas desafectadas que corresponden al poblado de San Juan Bautista en Bahía Cumberland y al sector de la pista de aterrizaje en Bahía del Padre, ambos lugares presentes en IRC.

El área de estudio definida para este trabajo se reduce a una de las tres islas del archipiélago, la isla Robinson Crusoe. En ella se concentra el único poblado permanente (durante todo el año) del conjunto de islas, representando la unidad más alterada en términos antrópicos.

En Robinson Crusoe se puede encontrar un mayor avance de especies invasoras, alcanzando las especies maqui, mora y murta una cobertura total leñosa de 46,6 % del total vegetacional, a diferencia de la isla Alejandro Selkirk donde se presenta esta cobertura en tan sólo un 2,2% (Díaz, 2013). Por esta razón IRC adquiere prioridad de intervención para su restauración. Complementariamente IRC tiene ventaja frente a IAS, ya que en ella existen experiencias en restauración y control de maqui y mora, en específico, en el bosque de Plazoleta el Yunque, donde se han demostrado resultados positivos de recuperación (Vargas *et al.*, 2010).

¹ Según lo informado por el Ministerio de Bienes Nacionales, Región de Valparaíso (Ord. N° 3517, de fecha 28/10/97).

Figura 2. Localización referencial del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, año 2012

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Caracterizar y seleccionar áreas prioritarias para la restauración ecológica de especies en peligro de extinción en el Parque Nacional Archipiélago de Juan Fernández, isla Robinson Crusoe.

3.2 Objetivos específicos

- 1.- Analizar el área de estudio para identificar los componentes ambientales a considerar como criterios de localización para la restauración ecológica de IRC.
- 2.- Identificar y seleccionar los criterios (factores y limitantes) para la identificación de áreas prioritarias.
- 3.- Caracterizar e integrar los criterios a través del diseño de un modelo de decisión basado en análisis multicriterio, desarrollado en plataforma SIG.

CAPÍTULO 2:
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

4. Marco teórico

4.1 El concepto de restauración ecológica

La restauración ecológica se define como el proceso de alteración intencional de un hábitat para reestablecer las condiciones del ecosistema original, recuperando su estructura, funcionamiento, diversidad y dinámica, con el objetivo de transformar el ecosistema dañado a un estado lo más parecido a como se encontraba antes de ser degradado o alterado (Society of Ecological Restoration).

El proceso de restauración es necesario en aquellos casos donde el ecosistema no es capaz de recuperarse naturalmente. Es generado por el ser humano con la finalidad de asistir a los hábitats degradados y provocar un cambio o modificación que permita recuperar las condiciones ambientales del ecosistema perturbado. Dentro de los objetivos de la restauración se busca detener las causas que originaron la degradación, recuperar la vegetación nativa de los ecosistemas, facilitar el proceso de sucesión natural y promover acciones de autorecuperación que permitan al ecosistema sostener su recuperación en el tiempo.

Existen dos posibilidades de restauración en ecosistemas degradados. Primero, la restauración pasiva que se lleva a cabo eliminando los factores de perturbación que impiden la expresión de los mecanismos de regeneración natural, permitiendo que los componentes se recuperen por si solos (éstas medidas tienen un grado bajo de intervención) y segundo, la restauración activa, que se realiza cuando los ecosistemas a tratar han perdido su capacidad de regeneración, por lo que deben adoptarse medidas y acciones específicas de mediano a alto grado de intervención que ayuden al desarrollo de la sucesión natural y a recuperar el ecosistema (Vargas Ríos, 2011).

4.2 La extinción de especies

Es conocido que el archipiélago de Juan Fernández alberga un gran porcentaje de endemismo a nivel de especies, géneros y familias (ver página 23). La mayoría de las especies se encuentran además, catalogadas como Raras (RCE, MMA), lo cual indica que son especies escasas y difíciles de encontrar. Las especies del archipiélago tienen una distribución geográfica limitada, por lo que están mucho más expuestas a las amenazas de la extinción que aquellas especies que tienen una distribución geográfica más amplia (Tuxill y Nabhan, 2001). En el archipiélago existe un registro de al menos ocho extinciones de especies vasculares (ver página 57 y 58) y para que este número no aumente, es necesario establecer prioridades de conservación y restauración de los hábitat de las especies en Peligro de Extinción, con el fin de proteger a las especies Raras y de restringida distribución.

4.3 Planificación ecológica, ecología de paisaje y su relación con la geografía.

La planificación ecológica es el proceso que implica el uso de conceptos de la ecología de paisaje y de geografía en la toma de decisiones sobre los usos de la tierra y el ordenamiento territorial. Se entiende como una disciplina que combina los conocimientos ecológicos con el análisis espacial aportado principalmente por la geografía (Romero y Vásquez, 2005). Estas herramientas son fundamentales para priorizar y enfrentar los problemas ambientales actuales en distintos escenarios.

Directamente relacionada a la planificación ecológica se encuentra la ecología de paisaje, la cual desde sus inicios mantiene una clara vinculación con la geografía. Este concepto, en específico *landscape ecology*, fue definido por el geógrafo Carl Troll, como el estudio de toda complejidad de relaciones causa-efecto que existen entre las comunidades de seres vivos y sus condiciones ambientales en una sección específica del paisaje (Troll, 1939). Esta definición comenzó a desarrollarse con el concepto de paisaje definido por A. von Humboldt, la teoría de sistemas desarrollada por L. von Bertalanffy y también con la teoría de James Lovelock con el concepto de Gaia. En la actualidad se puede definir a grandes rasgos que el concepto ecología de paisaje tiene un enfoque multidisciplinario donde destacan especialmente la geografía y la ecología, integrando holísticamente la dinámica y complejidad del medio ambiente. En este concepto, se desarrolla la heterogeneidad horizontal de la geografía que atribuye su estudio a los paisajes del territorio y la heterogeneidad vertical de la ecología, que busca entender e interpretar la relación entre los componentes bióticos y abióticos en un territorio definido.

El concepto de ecología de paisaje se fundamenta en la relación existente entre la estructura, morfología y funcionalidad del territorio (paisaje), en un momento determinado y su evolución a lo largo del tiempo, incluyendo la incidencia en su funcionalidad ecológica (Forman y Godron, 1986). Entendiendo que la estructura y morfología del paisaje están directamente relacionadas desde un punto de vista funcional, ya que en ellas se producen constantemente intercambios de energía que afectan la composición total del sistema y finalmente del paisaje.

4.4 El paisaje como unidad de análisis

Los componentes de la ecología de paisaje fueron definidos por Richard Forman y Michael Godron en el año 1986. Definen el paisaje como una porción del territorio que está compuesta por una agrupación de ecosistemas que comparten condiciones geográficas similares, tales como clima, geomorfología y régimen de perturbación, que los hacen diferenciables a otros tipos de paisaje.

Forman y Godron (1986) destacan como concepto fundamental en la interpretación del paisaje la idea de mosaico, el cual está compuesto por un conjunto de elementos, que

pueden ser evaluados a diferentes escalas, desde la microscópica hasta la planetaria. En el mosaico se pueden diferenciar tres grandes tipos de elementos: los fragmentos, los corredores y la matriz (ver Figura 3). Los fragmentos (manchas, parches) son las diferentes unidades limitadas que se pueden diferenciar en el territorio, los corredores son las conexiones existentes entre los fragmentos y la matriz es el espacio que agrupa a todos estos elementos. A su vez los fragmentos y los corredores incluyen el concepto de borde, el cual interactúa activamente con la matriz y con los bordes vecinos de otros fragmentos o corredores (efecto de borde), incluso adquiriendo características de amortiguadores de las perturbaciones. Este límite es un área de interacción entre ecosistemas adyacentes (Murcia, 1995), donde pueden producirse cambios debido a la transición entre los fragmentos.

La estructura del paisaje sufre modificaciones en relación a la alteración antrópica y por procesos naturales, produciendo diferencias en la forma y en el tamaño de los fragmentos. Las condiciones naturales favorecen el desarrollo de unidades curvilíneas e irregulares, a diferencia de aquellos parches donde se desarrolla la actividad humana donde predominan las formas rectilíneas y regulares. Una intervención humana moderada favorece la heterogeneidad de las formas, a diferencia de una intervención humana intensa donde las formas determinan la homogeneidad del paisaje.

Figura 3. Mosaico de paisaje en la isla Robinson Crusoe



Fuente: Elaboración propia, en base a Forman y Godron (1986)

4.5 Situación de la diversidad biológica mundial

Es conocido que la diversidad biológica de nuestro planeta está pasando por un periodo de crisis. Esto se ve reflejado en una disminución de la riqueza, abundancia de especies y también en la alta probabilidad de que futuras generaciones no tengan la posibilidad de conocer y heredar los beneficios que el sistema natural otorga.

Las dinámicas territoriales actuales están determinadas por procesos económicos, políticos, sociales y culturales, los cuales alteran de manera significativa las condiciones naturales de los ecosistemas mundiales. Los seres humanos alteran rápidamente las comunidades biológicas del mundo, su capacidad productiva y las regulaciones sistémicas de las mismas (CONAMA, 2008).

Entre los factores más importantes de pérdida de biodiversidad que han sido identificados a nivel global, se encuentran las modificaciones de los hábitat, la introducción de especies exóticas, la sobre explotación de especies y la extinción de especies en cadena. Factores que están condicionando de manera significativa el futuro de muchas especies de flora y fauna (CONAMA, 2008).

Sumado a esto hay que considerar los efectos del cambio climático global, el cual está ocurriendo a una velocidad muy rápida, lo que no permite que las especies puedan responder ecológica y evolutivamente. Todos estos impactos condicionan de diferentes formas a las distintas comunidades biológicas, representando finalmente un reto para su estabilidad y capacidad de resiliencia.

5. Marco conceptual

5.1 Ecosistemas

Un ecosistema es un tipo particular de sistema formado por complejos de organismos y su ambiente físico (Tansley, 1935). Éste es definido –según Leuschner (2005)- como un *“complejo conductor de energía compuesto por comunidades biológicas y su ambiente físico, que tiene una capacidad limitada de autorregulación”*.

Los ecosistemas son conjuntos de especies en un área geográfica determinada que interactúan entre sí y con su ambiente, mediante diferentes procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia, la simbiosis, entre otros. Estos son sistemas abiertos, donde la energía ingresa a ellos desde una fuente externa y es expulsada a través de mecanismos de disipación. Siendo conducida a través de sus componentes, como las comunidades biológicas y su ambiente físico. Destacando la capacidad de autorregulación, como la medida de control del ecosistema sobre la energía que ingresa².

² Extraído desde Biodiversidad de Chile, Capítulo “Ecosistemas Terrestres”, CONAMA (2008).

En relación a lo anterior, se puede mencionar que la fuente externa más importante de ingreso de energía a los ecosistemas es el sol. Ya que parte de la radiación solar que llega a la superficie terrestre es captada por organismos fotosintetizadores que transforman la energía solar en energía química, permitiendo su ingreso al ecosistema. De esta manera comienzan a estructurarse las redes o cadenas tróficas de los ecosistemas, a través de las cuales fluye la energía absorbida por los organismos.

Actualmente se hace mucho hincapié en la clasificación de ecosistemas, lo que requiere un detallado conocimiento sobre las diferentes componentes por los que fluye la energía. La vegetación, por ejemplo, es definida como la forma en que los componentes vegetales de un ecosistema ocupan el espacio, ésta de hecho, puede ser utilizada como un sustituto del ecosistema completo, ya que las especies vegetales concentran la mayor proporción de biomasa y productividad de los ecosistemas, reflejan la influencia del complejo ambiental y definen la estructura espacial de los mismos (Leuschner, 2005).

A su vez, la distribución geográfica de los ecosistemas constituye el paisaje. Siendo éste modelado por perturbaciones, procesos bióticos y factores ambientales que operan a diferentes escalas tanto espaciales como temporales.

Se desprende de lo anteriormente expuesto, la importancia de los ecosistemas, fundamentado en que cada componente de los mismos cumple una función específica. La alteración de sus componentes, puede determinar un eventual cambio del sistema dinámico al cual pertenecen. Lo cual incluye un principio de incertidumbre a estas modificaciones, al no conocer sus posibles efectos y tampoco su escala.

5.2 Biodiversidad

El termino biodiversidad fue acuñado en 1985 por el biólogo E. O. Wilson, en referencia a la expresión “diversidad biológica”. Es un concepto multidimensional que se refiere a la variabilidad y variedad de todos los organismos y sus hábitats. Siendo una expresión integradora de distintas escalas espaciales y niveles de organización. Abarca la diversidad de especies de plantas y animales, su variedad genética en los ecosistemas donde se constituyen, incluyendo procesos ecológicos y evolutivos que se dan en distintos niveles (genes, especies y ecosistemas).

La diversidad de especies es la acepción más utilizada en el ámbito de la biodiversidad, refiriéndose tanto a la riqueza o número de especies que hay en una comunidad o área geográfica (ej. país, ecorregión, bioma), como también a las relaciones de abundancia que existen entre ellas (Purvis y Hector, 2000).

Es importante destacar que diferentes estudios científicos han demostrado que la diversidad de un lugar puede tener gran influencia sobre la productividad, la fijación de nutrientes, estabilidad, resiliencia y otras funciones del ecosistema. Por otra parte, una especie no es tan sólo importante por variabilidad genética y por los servicios que el

hombre puede obtener de ella, sino también porque cada especie cumple un rol de relación con otras especies, lo que determina un funcionamiento en comunidad y dentro de un ecosistema³. Además, es considerado que la existencia de cada especie tiene un valor intrínseco, definido a través de la dimensión ética.

5.3 Endemismo

Se ocupa el término endemismo cuando un *taxa* vegetal o animal se encuentra en un determinado lugar o área, es exclusivo de dicho territorio y no se encuentra en otra distribución, es decir su amplitud biogeográfica es restringida, según condiciones ambientales específicas.

En el archipiélago de Juan Fernández de las 213 especies nativas, 135 son endémicas estrictas, representando un 63, 4%⁴ de las especies vegetales de este ecosistema, en él se pueden encontrar endemismos a nivel de especie como *Yunquea tenzii*, endemismos a nivel de género como sucede con el género *Dendroseris* y también un endemismo a nivel de familia, como es el caso de *Lactoridaceae* (ver Figura 4).

Figura 4. Endemismos en el AJF



Genero Dendroseris



Familia Lactoridaceae

Fuente: Archivo fotográfico de terreno, año 2011

³ Extraído desde Biodiversidad de Chile, Capitulo “Nuestra diversidad biológica”, CONAMA (2008).

⁴ Phillipe Danton & Christophe Perrier. Nuevo catálogo de la flora vascular del archipiélago Juan Fernández (Chile), año 2006.

5.4 Invasiones biológicas

Las invasiones biológicas se clasifican hoy como una de las principales amenazas a la biodiversidad a nivel mundial (Mack *et al.*, 2000). Estas se desarrollan cuando una especie de flora o fauna en particular es introducida a un ecosistema nuevo, en el cual es capaz de desarrollarse de manera exitosa y autosustentable. En algunos casos las poblaciones de especies invasoras crecen en abundancia, colonizando nuevas áreas y ampliando su rango de distribución. El desarrollo exponencial de estas especies se asocia a impactos en el ecosistema original, alterando los elementos del paisaje, modificando su estructura natural y desplazando a las especies originarias.

Algunos de los conceptos relevantes en esta temática son los siguientes (definidos según la adaptación de Richardson *et al.*, 2000, en <http://www.lib.udec.cl/invasiones.html>): i) Las especies exóticas o introducidas son aquellas cuya presencia y distribución se debe a la introducción intencional o no, como consecuencia de la actividad humana, ii) las especies naturalizadas son las que se reproducen constantemente y mantienen poblaciones estables, sin intervención humana y, iii) las especies invasoras son aquellas que tienen la capacidad de reproducirse en grandes cantidades y adquieren un potencial que les permite establecerse en hábitats naturales.

5.5 Áreas silvestres protegidas

El archipiélago de Juan Fernández es Parque Nacional desde el año 1935, y desde la década de los 70' es administrado por la Corporación Nacional Forestal, que regula estas áreas bajo la figura del Servicio Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE).

El SNASPE está constituido por tres categorías de manejo: Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales, las cuales conforman áreas representativas de la diversidad ecológica, física y cultural de Chile que el Estado conserva para la presente y las futuras generaciones. Específicamente, un Parque Nacional se define formalmente como: *“un área generalmente extensa, donde existen diversos ambientes únicos o representativos de la diversidad biológica natural del país, no alterada significativamente por la acción humana”* (Ley N° 18.362).

5.6 Hotspot de biodiversidad

Un hotspot o “punto caliente” de biodiversidad con prioridad de conservación, es una región definida, donde se concentran un mínimo de 1.500 especies vasculares endémicas (lo que equivale a un 0,5 % de las plantas vasculares del mundo), una alta proporción de vertebrados endémicos, y en donde el hábitat original ha sido fuertemente impactado por acciones antrópicas (Myers *et al.*, 2000). Es un lugar biológicamente muy rico y a la vez muy amenazado, donde las especies componentes de estas regiones corren un alto

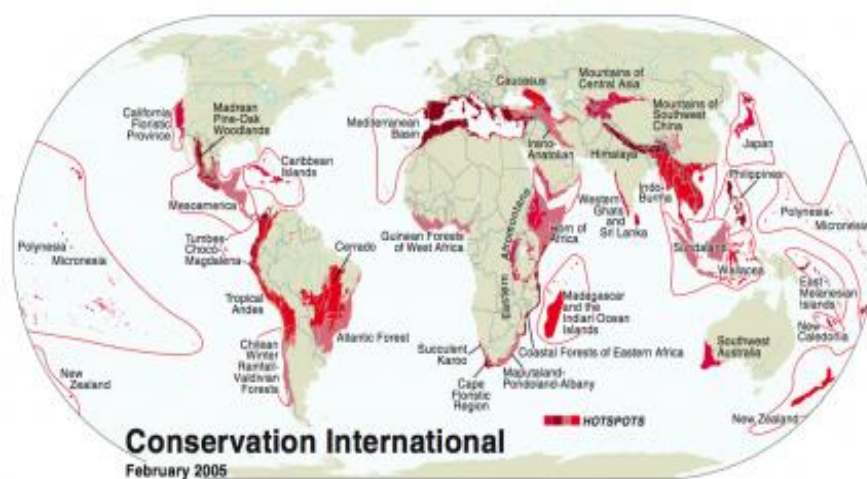
peligro, por estar acotadas a limitadas regiones geográficas y por presentar grandes presiones en su conservación.

En Chile se encuentra el hotspot llamado “Chilean winter rainfall - Valdivian forest”, ubicado en su gran magnitud en Chile central (ver Figura 5). Éste según lo descrito por Arroyo *et al.*, 2004, se localiza entre la costa del Pacífico hasta las cumbres andinas entre los 25 ° y 47° S, incluyendo la franja costera entre los 25 ° y 19 ° S. El hotspot incluye, los bosques lluviosos norpatagónico y valdiviano, bosques deciduos dominados por especies de *Nothofagus* (*N. obliqua*, *N. alessandri*, *N. macrocarpa*, entre otras), el bosque esclerófilo típico y matorrales de clima mediterráneo de Chile central y, las zonas áridas de niebla (vegetación de Las Lomas en el Norte Grande y la flora alto andina). El archipiélago de Juan Fernández, junto con el archipiélago de Galápagos, fueron considerados por Mittermeir *et al.*, (2004) como dos pequeñas áreas particulares

Como ya se explicó, uno de los rasgos representativos como condición para que sea asignado un hotspot es que existan efectivamente amenazas a la biodiversidad. En este sentido el hotspot “Chilean winter rainfall-Valdivian forest”, presenta como grandes amenazas la degradación de hábitat original, la expansión de plantaciones forestales en Chile central, el sobrepastoreo, el gran desarrollo e invasión por especies exóticas y la comercialización de especies nativas (Armesto *et al*, 1998). El mini-hotspot de Juan Fernández, presenta las amenazas de las especies invasoras y degradación de su hábitat original.

Con respecto a lo anterior, se desprende que es de suma urgencia integrar este concepto a las iniciativas políticas nacionales. Es indispensable desarrollar estrategias de conservación y restauración de especies con problemas de conservación, integrando diferentes sectores, tanto del ámbito público, privado y la sociedad civil, para así mantener la diversidad biológica de estas áreas de alto riesgo.

Figura 5. Hotspots de biodiversidad a nivel mundial



CAPÍTULO 3:
MARCO METODOLÓGICO

6. Planteamiento metodológico

El enfoque metodológico de este trabajo, se basa en la idea de restauración para la conservación biológica. Este planteamiento responde a ideas conservacionistas y preservacionistas que siguen los lineamientos de Aldo Leopold⁵, buscando la integración entre las dimensiones científica y ética de la naturaleza. La dimensión científica o visión conservacionista (iniciada en el siglo XIX por Gifford Pinchot) está relacionada con el uso racional de los recursos naturales, en cambio la visión preservacionista o ética (promovida por ambientalistas norteamericanos como John Muir en el siglo XIX), enfatiza en el valor intrínseco de la naturaleza, más allá de su valoración instrumental (Primack *et al.*, 2001).

Complementariamente, se enfatiza en la idea integrativa entre conocimiento local y conocimiento científico, entendiendo que la dimensión humana es parte del medio ambiente, por tanto es un factor fundamental, cuando se pretende conservar y preservar. Los saberes locales son fundamentales para entender el contexto actual del área de estudio y a la vez, proyectar los ecosistemas de referencia para iniciar un proceso de restauración ecológica (Vargas Ríos, 2011).

El objetivo de restauración perseguido en este trabajo, promueve la obtención de resultados en base a niveles de organización del territorio, ya que busca implementar medidas de restauración a escala local (unidad mínima de análisis) para eventualmente, disminuir y/o amortiguar la fragmentación a escala de paisaje.

Desde la perspectiva de la geografía, se entiende que esta metodología tiene un enfoque holístico, ya que incluye distintas dimensiones del conocimiento (antropológica, biológica, y física), para comprender el territorio y a la vez, proyectar los cambios deseados. La dimensión geográfica, incorpora a las comunidades humanas, biológicas y su entorno abiótico como partes complementarias y no opuestas de un territorio, siendo abordadas, desde una visión sistémica.

Los lineamientos de esta metodología contribuyen desde sus fundamentos teóricos y prácticos a la conservación *in situ* (de manera prioritaria) y *ex situ* de sus componentes biológicos, basados en el conocimiento científico, local e histórico. Este trabajo pretende ser un modelo dinámico que permita organizar el territorio en base a prioridades de conservación y restauración, para así utilizar de forma racional y justificada los recursos limitados para el tratamiento y recuperación de los ecosistemas.

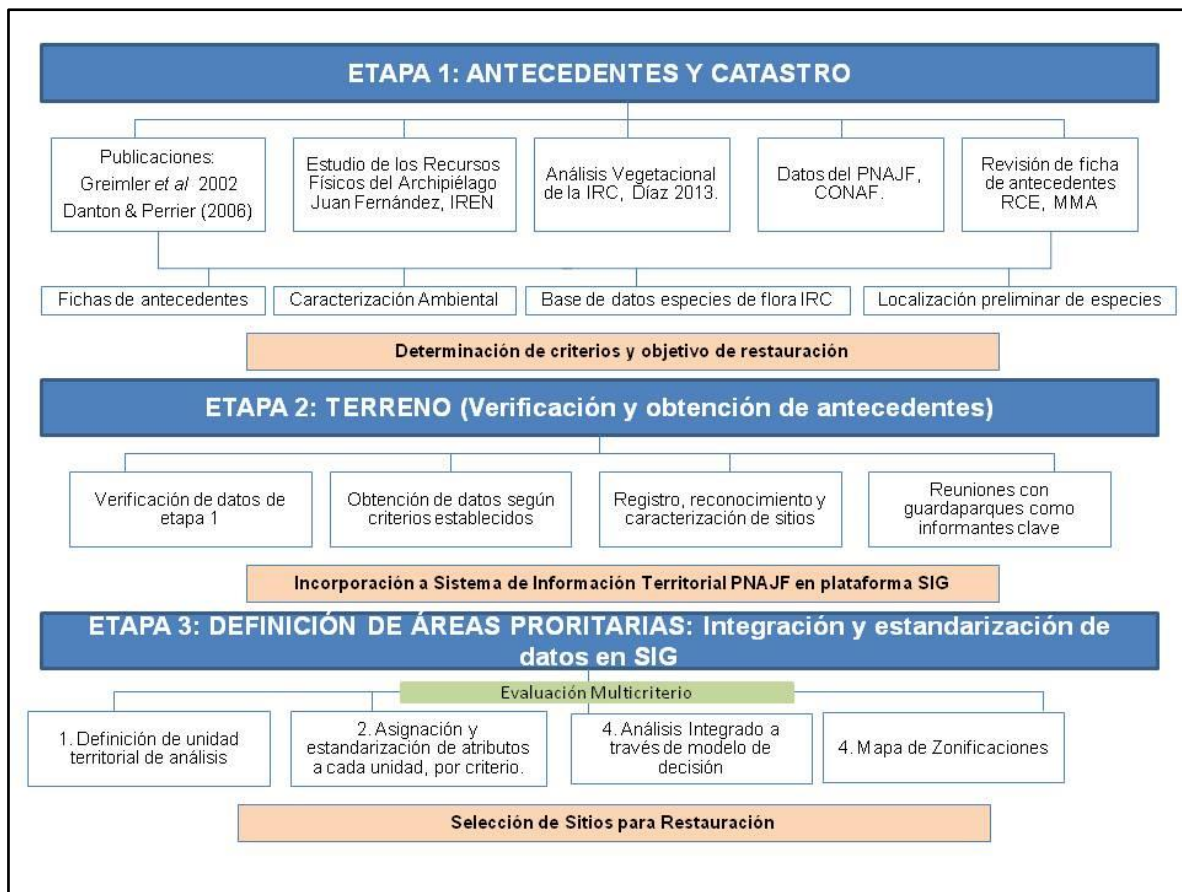
⁵ Aldo Leopold es reconocido como uno de los personajes precursores y más relevantes en los orígenes de la conservación biológica.

6.1 Estructura metodológica

A modo explicativo, en la Figura 6 se muestra la estructura metodológica de este trabajo, la cual consta de tres etapas principales, desde la recopilación de antecedentes hasta la integración de criterios para la selección de áreas. La idea principal de esta metodología radica en identificar, describir espacialmente y posteriormente integrar criterios (factores o limitantes) en una matriz de superposición, para la selección de áreas de interés.

A continuación se presenta un cuadro resumen con los pasos realizados para la obtención de resultados:

Figura 6. Estructura metodológica



Fuente: Elaboración propia, año 2011

6.2 Etapa 1: Antecedentes y catastro

La primera etapa de esta metodología consistió en hacer un análisis preliminar de la realidad del área de estudio. Como primer paso, se recabó información bibliográfica, cartográfica, publicada y no publicada desde distintas fuentes y estudios realizados en la isla Robinson Crusoe (IRC), con la finalidad de describir los componentes bióticos y abióticos del área de interés. Se realizó esta búsqueda exhaustiva en:

- Publicaciones científicas
- Estudios cartográficos
- Análisis de imágenes satelitales
- Datos no publicados sobre el Parque Nacional Archipiélago de Juan Fernández (antecedentes de guardaparques del PNAJF).
- Estudios físicos
- Fichas de antecedentes de especies endémicas elaboradas para CONAMA (actual MMA) para el Reglamento de Clasificación de Especies (RCE), realizadas por Marcia Ricci.

Desde estas fuentes se obtuvo una caracterización ambiental del área en estudio, lo que permitió establecer los criterios que fueron relevantes a la hora de seleccionar las áreas para restaurar. Estos criterios debían a su vez, estar fundamentados en un objetivo de restauración, lo cual se determinó mediante la revisión bibliográfica de publicaciones para distintos casos de estudio en esta temática (restauración ecológica y análisis multicriterio), algunos ejemplos de ello fueron:

- Identifying priority areas for Forest Landscape Restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. Francesco Orsi y Davide Geneletti (2010).
- Prioritisation of target areas for forest restoration. Final Report. Producido por WCMC para WWF Internacional (2000).
- Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Montserrat Gómez y José Barredo (2005).
- Método para la planificación del manejo de áreas protegidas. Eduardo Núñez (2008).
- Restauración ecológica, biodiversidad y conservación. Orlando Vargas Ríos (2011).

Desde el análisis de antecedentes se obtuvieron productos que posteriormente se utilizaron para identificar y describir los distintos criterios. Desprendiéndose en este punto las siguientes metodologías de trabajo.

i. Ficha de antecedentes de especies endémicas prioritarias:

Se desarrolló y confeccionó una ficha de antecedentes para generar una lista priorizada de especies endémicas en peligro crítico⁶, la cual se elaboró como parte del Plan Nacional de Conservación de Especies del PNAJF y luego se rectificó con información entregada por los guardaparques del Parque Nacional. Este listado se mejoró mediante la colección de información generada por distintos expertos (Marcia Ricci, Phillipe Danton y Christopher Perrier). Finalmente se sintetizó en un documento escrito, donde se indica para cada especie su clasificación taxonómica, antecedentes generales, distribución geográfica, situación actual de la especie, preferencia de hábitat y estado actual de conservación⁷.

ii. Caracterización ambiental:

Mediante la recopilación bibliográfica desde distintos estudios elaborados por IREN, Dirección Meteorológica de Chile, tesis, guardaparques y publicaciones científicas, se confeccionó una caracterización descriptiva de componentes bióticos y abióticos del área de estudio.

iii. Base de datos de las especies de flora de la IRC:

Basándose en el análisis de las asociaciones vegetales definidas por Greimler *et al.* (2002), en el catálogo de flora vascular de Danton & Perrier (2006) y utilizando los datos florísticos de 97 parcelas de Greimler *et al.*, 2002, se identificó la riqueza y abundancia de especies en las principales ocho unidades vegetales de la IRC (Greimler *et al.*, 2002): (1) bosque montano alto, (2) bosque montano bajo, (3) matorral de murta, (4) matorral de zarzamora y maqui, (5) vegetación de *Acaena*, (6) pastizales, (7) asociación de malezas y (8) plantaciones forestales. Se calculó la ocurrencia de especies endémicas, nativas y exóticas para cada parcela de muestreo y sucesivamente para cada comunidad vegetacional. Las categorías de conservación UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) se establecieron para cada especie identificada, según los datos de Danton & Perrier (2006). Se simplificó la clasificación UICN de especies en: (a) Peligro Crítico y En Peligro, que considera aquellas especies que presentan un alto o muy alto riesgo de extinción en estado silvestre, (b) Vulnerables: aquellos taxones que están en peligro de extinción en vida silvestre y (c) Menor Preocupación, que considera aquellas especies que tienen un bajo Peligro de Extinción. Complementariamente se

⁶ Definida en el Plan Nacional de Conservación de Especies Endémicas en Peligro Crítico del Archipiélago Juan Fernández, CONAF 2010.

⁷ Esta ficha de antecedentes esta publicada en www.conaf.cl, sección Planes de Conservación de especies de flora y fauna, en el marco del Programa Nacional de flora y fauna amenazadas.

evaluó, la “invasividad” de las especies exóticas (Danton & Perrier, 2006), diferenciando las especies según su índice de perjuicio. en: (a) “Invasivas peligrosas”, referidas a exóticas ya introducidas en la vida silvestre que ponen en peligro a las taxas originales; y (b) “riesgo de naturalización”, asociado a especies que presentan probabilidad de introducirse en la vida silvestre.

iv. Localización preliminar de especies prioritarias:

Mediante la consulta a guardaparques del PNAJF se realizó una cartografía preliminar de las especies endémicas de interés dentro de los límites de la isla Robinson Crusoe. Se trabajó a distancia, enviando a la isla mapas que contenían curvas de nivel e imágenes satelitales del área en estudio, donde los nueve guardaparques de la unidad, dibujaron y localizaron de manera manual (en formato papel) cada una de las especies a cargo⁸, identificando el sector de ubicación, distribución y la cantidad total de ejemplares.

Una vez obtenidos estos mapas, se digitalizaron y se transformaron a formato *shapefile* para ser incorporados en sistemas de información geográfica. En este sistema se les otorgaron atributos espaciales y de georreferenciación, para posteriormente ser corroborados y rectificados en conjunto con los guardaparques en la etapa de terreno, mediante la utilización de sistemas de posicionamiento global (GPS).

6.3 Etapa 2: Terreno, verificación y obtención de antecedentes

La segunda etapa de esta estructura metodológica, consta de 4 puntos principales en los cuales se busca fundamentalmente la verificación y obtención de datos. Se trabajó directamente con la información preliminar obtenida en la etapa 1, la cual se verificó y corroboró en campañas de terreno, que se llevaron a cabo durante dos meses en el verano del año 2010 y durante tres meses en el verano del año 2011. Complementariamente se realizaron reuniones con guardaparques y el administrador de la unidad para verificar y considerar sus experiencias en las decisiones a tomar.

En la primera reunión realizada se determinó el listado definitivo de especies endémicas prioritarias para este análisis. Además se corroboraron los mapas digitales generados a partir de la localización ya realizada de estas especies por medio de mapas en papel en la primera etapa. La selección de las especies de interés final se generó en función del Plan Nacional de conservación del parque, por los datos no publicados de guardaparques y por entrevistas *online* realizadas a tesistas e investigadores del área de estudio, determinando con ello el listado prioritario, que consta de 11 especies.

⁸ Las especies prioritarias del Plan Nacional de Conservación del PNAJF, están a cargo de los guardaparques del PNAJF, cada uno de ellos tiene a cargo 2 o 3 especies.

A su vez, en las salidas de campo se visitó al menos una población de cada una de las especies del listado (excepto *Yunquea tenzi*⁹), de modo de caracterizar el sitio de localización y rectificar la información de las fichas de antecedentes de especies. El método de trabajo en cada salida se desarrolló mediante la elaboración de una ficha de terreno (ver Tabla 1) que se aplicó en una parcela de 5 x 5 metros, lo que varió en ciertos casos debido a la dificultad topográfica del área de estudio.

Tabla 1. Ejemplo de ficha desarrollada en terreno

LUGAR		
Topónimo		
Coordenadas		
Altura		
Fecha		
ESPECIES CRÍTICAS		
Especie		
Categoría de Conservación		
Número de individuos	Plántulas	
	Adultos	
	Renovales	
Número de poblaciones		
Tamaño		
Estado fenológico	Yema	
	Flor	
	Fruto verde	
	Fruto maduro	
Estado sanitario		
Especies acompañantes		
Distribución	Agrupada	
	Dispersa	
Crecimiento	Vegetativo	
	Semilla	
CONDICIÓN DEL SITIO		
Cobertura de vegetación (%)		
Erosión	Tipo	
	Grado	
Pendiente		
Exposición		
Degradación física		
Sustrato		

⁹ No fue posible acceder al sitio donde se encuentra la única población de esta especie, dada la geomorfología del área evaluada.

IMPACTO ANTRÓPICO		
Accesibilidad	Distancia	
	Número de caminos	
	Dificultad	
Contaminación		
Huellas		
FAUNA SILVESTRE		
Evidencias	Directas	
	Indirectas	
ESPECIES INTRODUCIDAS		
Cobertura (%)		
Distancia a especies. endémicas		
Especies		

Fuente: Elaboración propia, año 2011

Las salidas a terreno permitieron reconocer los sitios y sectores del área de estudio, a modo de puntos de control, pudiendo así eliminar la incertidumbre de los datos obtenidos en la etapa de gabinete y rectificando la localización de especies originarias e introducidas.

Paralelamente a las salidas de campo, se realizaron entrevistas y reuniones con guardaparques (informantes clave sobre características y datos no publicados sobre especies en estudio) y el administrador del Parque Nacional. En estas entrevistas se obtuvieron más datos sobre las especies, tales como fenología, viverización y criticidad.

Como último paso de esta etapa, se incorporaron todos los datos obtenidos a una plataforma SIG, al sistema de información territorial del PNAJF, otorgando información espacial y georreferenciación a cada una de las capas temáticas. Todos los datos utilizados en esta plataforma fueron reconocidos por el administrador y los guardaparques del PNAJF, además del equipo de investigadores del área de estudio.

6.4 Etapa 3: Definición de áreas, integración y estandarización de datos

Esta última etapa se basa en la teoría de decisión y en métodos de Evaluación Multicriterio (EMC); se tomaron como base las publicaciones de Eastman *et al.*, (1993), Barredo (1996), Gómez y Barredo (2005) y Malczewski (1999). Los pasos a seguir están basados en la aplicación de la teoría de evaluación multicriterio que se constituye como un conjunto de técnicas orientadas a asistir los procesos de toma de decisiones. Se

utilizaron herramientas informáticas y software computacionales, que permitieron integrar al análisis, datos espacialmente georreferenciados (ArcGis 9.3®).

Los procesos realizados se estructuraron a partir de la función a desarrollar y del objetivo a lograr basado en el concepto de restauración ecológica; éstos son planteados sobre todas aquellas partes del territorio susceptibles a ser evaluadas y sobre las que se realizará una selección final (Gómez y Barredo, 2005). El objetivo a lograr es la base de la estructura para la toma de decisiones, el cual se plantea sobre una serie de alternativas caracterizadas según los distintos criterios o factores que intervienen en la evaluación, las cuales fueron representadas en coberturas espaciales en SIG (llámese factores o limitantes – que a su vez son criterios-).

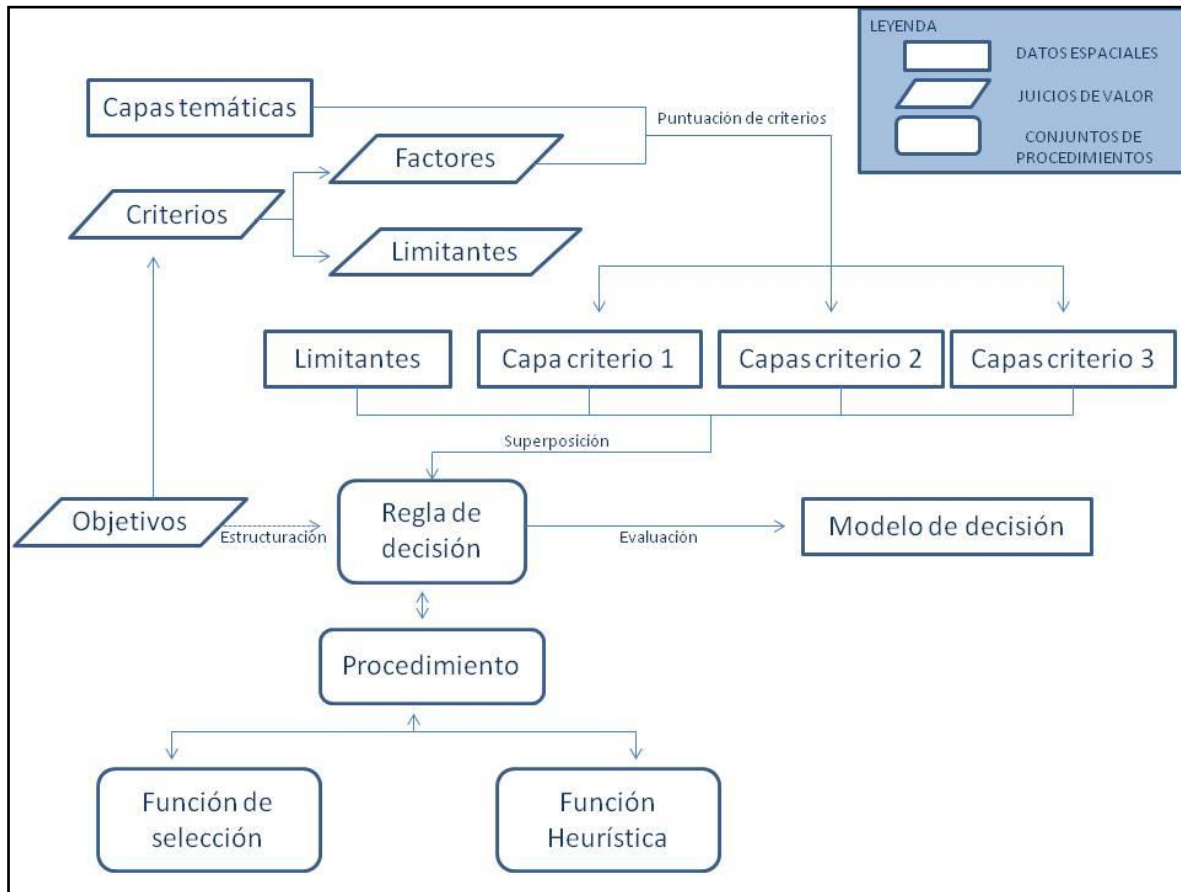
Las coberturas espaciales resultantes de los criterios son insumos de la regla de decisión¹⁰, las cuales posteriormente se integran en un solo conjunto de datos, evaluándolas de modo que se genera una capa final (modelo de decisión), donde cada dato o alternativa ha recibido un valor de acuerdo a la capacidad de acogida¹¹ de la actividad evaluada (Figura 7) (Gómez y Barredo, 2005). En este trabajo, se busca encontrar todas las áreas de la superficie de IRC que cuenten con ciertas características y elementos bióticos y abióticos que permitan el cumplimiento del objetivo de restauración. La sumatoria de los factores positivos, menos la sumatoria de los factores negativos, reflejarán el valor de capacidad de acogida para cada lugar evaluado del área de estudio.

La EMC se realizó en Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo cual permitió integrar las alternativas espacialmente, ya sea como celdas en el modelo raster o polígonos, puntos y líneas en el modelo vectorial, constituyendo así capas temáticas de objetos espaciales (Gómez y Barredo, 2005), las cuales sumadas a la jerarquización de criterios en el modelo de decisión, fueron evaluadas para detectar las mejores alternativas de localización (Figura 7).

¹⁰ Se define como el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular (Gómez y Barredo, 2005: 50).

¹¹ Se define como la capacidad que tiene el espacio territorial de albergar o soportar una actividad en específico, en este caso las actividades de restauración ecológica.

Figura 7. Sistema de integración de EMC y SIG



Fuente: Elaboración propia a partir de "Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio de Gómez y Barredo" (2005)

Los criterios seleccionados para definir las áreas prioritarias, se entienden como la base para la toma de una decisión, los cuales pueden ser medidos y evaluados. Son la evidencia sobre la cual se basa la decisión (Eastman *et al.*, 1993; Voogd, 1983). Desde aquí se desprende que los criterios son el punto de referencia para la elección de una alternativa en la toma de decisiones.

Los criterios se distinguieron en dos tipos: factores y limitantes. Entendiéndose el primero, como un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa, el cual debe medirse en una escala continua (en este trabajo de 0 a 3). El segundo, como aquel que restringe la disponibilidad de algunas alternativas en función del objetivo evaluado, en el cual se excluyen varias alternativas, ya que es selectivo y medido a través de una capa binaria con valores de 1 y 0.

La Figura 7 muestra en conjunto la EMC y la utilización de los SIG como una herramienta, resaltando la integración entre los datos espaciales, juicios de valor y los conjuntos de procedimientos. Desde este punto se puede desprender la importancia que recae en la

definición de objetivos en la toma de decisiones. En base a estos objetivos, se estructura un modelo lógico que incluye la selección de criterios (factores y limitantes) y la regla de decisión que permitirá generar un modelo que integre la valoración de las distintas alternativas.

En resumen, se puede definir y sintetizar estos procesos en lo siguiente:

- Definición de objetivo: ¿Qué atributos se requieren para la localización de las áreas a restaurar? ¿Qué se quiere lograr o realizar en las áreas a seleccionar?.
- Selección de criterios (factores y limitantes) que estén relacionados con el objetivo.
- Estructuración de modelo de decisión (diseño del árbol de problemas para alcanzar el objetivo, incluyendo su valoración y jerarquización de criterios).
- Integración de capas de alternativas a través una sumatoria lineal ponderada y selección de áreas prioritarias (combinación de alternativas de localización y selección de áreas con mayor aptitud en relación al objetivo de restauración).

Para el logro de esta metodología se desarrollaron los siguientes pasos metodológicos:

i. Definición de unidad de análisis

Para la evaluación del área de estudio, se definieron las microcuencas hidrográficas como base del análisis. Esta idea se basa en que, las microcuencas hidrográficas comprenden una unidad territorial homogénea de múltiples interacciones entre componentes bióticos y abióticos, donde pueden diferenciarse hábitats y procesos que originan condiciones únicas y particulares. Éstas tienen sus límites en las divisorias de aguas, es decir en los sectores más altos, comprendiendo a los cauces y/o quebradas de escurrimiento y a sus afluentes. Esto, en sentido práctico, es de mucha utilidad para el presente estudio, ya que la delimitación de las microcuencas permitirá, a la vez, identificar y delimitar áreas factibles donde realizar el trabajo *in situ* de control de especies invasoras.

Para definir la unidad de análisis se utilizaron dos fuentes de datos, las cuales posteriormente fueron integradas. La primera se obtuvo y desarrolló a través del software Arcgis 9.3, a partir de un análisis hidrográfico utilizando la herramienta Hydrology del módulo Spatial Analyst. Posteriormente se comparó, el análisis anterior, con la clasificación de cuencas de IREN (año 1982¹²). Una vez identificadas las similitudes y diferencias, se trabajó con la imagen satelital World View (resolución 2 x 2 metros), curvas de nivel cada 30 metros y el patrón de drenaje, para identificar mediante interpretación visual, las divisorias de aguas, lo que permitió delimitar las microcuencas de IRC. Una vez identificadas se dibujaron en el software Arcgis 9.3, se asignó una identificación (ID) (nombre y número) y se calculó su superficie en hectáreas.

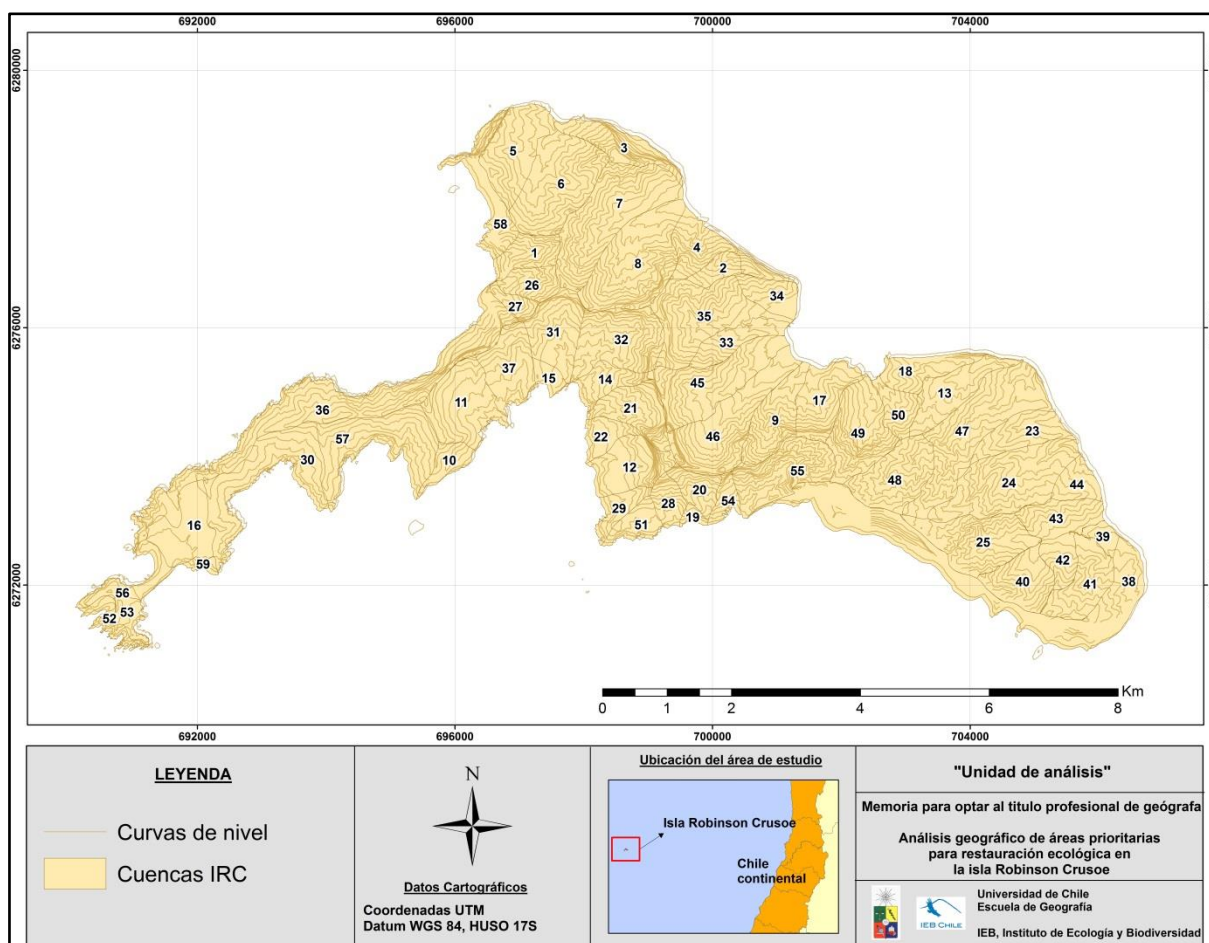
Uno de los fundamentos que justifica la utilización de las microcuencas hidrográficas como unidad de análisis, tiene relación con la naturaleza y presentación de los datos que fueron integrados para la selección de áreas prioritarias (puntos, líneas y polígonos). Los

¹² Estudio de los recursos físicos del archipiélago de Juan Fernández. Mayo, 1982

criterios integrados (factores) se normalizaron como polígonos (microcuencas), a los cuales fueron asignados los valores de cada factor de selección. Esto se fundamenta en que las acciones de restauración en IRC, serán aplicadas en un área de intervención y no en un punto o coordenada espacial específica (situación resultante si se analizaran los datos a nivel de coordenadas o puntos). Por lo que, todos los valores fueron asignados a una unidad espacial mínima de análisis, la microcuenca hidrográfica. La cual se eligió por ser una unidad territorial reconocida, delimitada naturalmente por sus divisorias de aguas, las que generalmente son fáciles de identificar en el área de estudio.

La clasificación realizada para este trabajo, reconoció un total de 59 microcuencas (ver Figura 8) hidrográficas. Importante es destacar y aclarar que esta clasificación no constituye un estudio especializado de hidrografía, ya que se diferenciaron las unidades en relación al objetivo de este trabajo, considerando sólo la información superficial y orientada en las actividades de restauración y control de especies invasoras. El punto de referencia –como ya se ha mencionado- fueron las divisorias de aguas, lo que permitió diferenciar áreas separadas por cordones altitudinales que permitieron organizar el programa de restauración, en zonas homogéneas en relación a su acceso.

Figura 8. Unidad de análisis



Fuente: Elaboración propia, en base a cuencas de IREN (1982) e Imagen World View (2010).

Tabla 2. Microcuencas hidrográficas del área de estudio

ÁREA (ha)	NOMBRE	ID
46,3	Quebrada de Juanango	1
25,8	Quebrada Salsipuedes	2
65,4	Puerto Inglés - Vaquería	3
72,2	Puerto Inglés - Vaquería 2	4
103,4	Quebrada de Vaquería 2	5
153,4	Quebrada de Vaquería 1	6
178,3	Puerto Inglés 2	7
169,4	Puerto Inglés 1	8
79,5	Quebrada de Lord Andson	9
29,3	Punta Blanca	10
111,6	Punta Baja 1	11
81,9	Quebrada Los Ramplones	12

ÁREA (ha)	NOMBRE	ID
77,7	Quebrada Rabanal	13
41,8	Quebrada Villagra 2	14
17,4	Quebrada Villagra 1	15
82,1	Quebrada del Aeropuerto	16
79,0	Quebrada del Palillo	17
54,9	Quebrada Pangal - Rabanal	18
8,6	Quebrada del Yunque 1	19
36,3	Quebrada del Yunque 2	20
72,2	Quebrada La Campana 1	21
32,3	Quebrada La Campana 2	22
63,8	Quebrada Laura	23
164,1	Quebrada Pesca Los Viejos	24
119,4	Quebrada Puerto Frances 1	25
39,2	Quebrada sin nombre	26
19,6	Quebrada sin nombre 1	27
31,5	Quebrada sin nombre al weste del yunque	28
30,5	Ramplones 1	29
147,4	Tierras Blancas	30
85,0	Villagra 1	31
119,6	Villagra 2	32
49,6	Quebrada colonial 2	33
42,0	Quebrada colonial 1	34
148,5	Quebrada Colonial	35
261,6	Punta lemus - aeropuerto	36
80,8	Punta baja 2	37
272,8	Puerto Francés - corrales de Molina	38
17,1	Puerto Francés 4	39
72,8	Puerto Francés 5	40
78,2	Puerto Francés 6	41
36,1	Puerto Francés 3	42
62,1	Quebrada Pesca Los Viejos	43
35,6	Puerto Francés - Pesca Los Viejos	44
132,5	Piedra con letras 2	45
144,2	Piedra con letras 1	46
183,4	Piedra agujereada 2	47
99,6	Piedra agujereada 1	48
110,2	Pangal 2	49
37,5	Pangal	50
34,6	Los Ramplones 2	51
26,6	Cuenca desconocida	52

ÁREA (ha)	NOMBRE	ID
21,9	Bahía del padre 2	53
21,8	Corrales de Molina - qbda. del yunque	54
108,7	Corrales de Molina	55
41,0	Bahía del Padre 1	56
142,9	Bahía Chupon	57
67,8	Boca de Sapo	58
8,8	Bahía Carvajal	59

Fuente: Elaboración propia, en base a cuencas del IREN (1982) e Imagen World View (2010).

ii. Asignación de atributos y estandarización de criterios por unidad de análisis espacial

Ya contando con las unidades de análisis para el área de estudio, se procedió a evaluar y asignar valor a cada una de ellas según los criterios (factores y limitantes), mediante la utilización de las coberturas espaciales en Arcgis 9.3.

Una vez resueltas las capas temáticas por criterio (evaluados a nivel de microcuencas), se procedió a estandarizar y normalizar los datos, puesto que se encontraban en distintas escalas de medición. Por ejemplo, la información referente a la riqueza de especies se encontraba en número enteros, las asociaciones vegetales en porcentajes y la pendiente en grados.

La estandarización de la información para los criterios, en el caso de los factores se basó en la asignación de rangos desde 0 a 3 (valorización continua). El rango 3 se entiende como el óptimo dentro de los rangos establecidos, como es el caso de alto endemismo y alta concentración de especies invasoras. Aquellos casos que sean menos interesantes como por ejemplo, la nula presencia de especies endémicas en la unidad de análisis adquiere el rango menos óptimo que sería en este caso el 0. En relación a la categorización de los criterios limitantes, estos se evaluaron como excluyentes y no excluyentes, adquiriendo valores de 1 y 0 (capa binaria), representando el 0 al excluyente y el 1 al no excluyente.

iii. Análisis integrado de criterios

Una vez resuelta las etapas de definición de unidad de análisis, la valoración por criterios y la estandarización de los datos, se generó la estructura de integración de los criterios de selección y como se articulará el modelo de decisión multicriterio. Para este trabajo se utilizó el procedimiento de selección heurística, que persigue obtener una selección de alternativas en un conjunto de posibilidades de localización (Eastman *et al.*, 1993). Además, se determinaron los pesos de cada uno de los criterios en el modelo de integración de los datos, a modo de expresar en términos cuantitativos la importancia de éstos en la evaluación (CEOTMA, 1991). Esta asignación de pesos se realizó mediante asignación directa o tasación simple (Gómez y Barredo, 2005), la cual se construye a

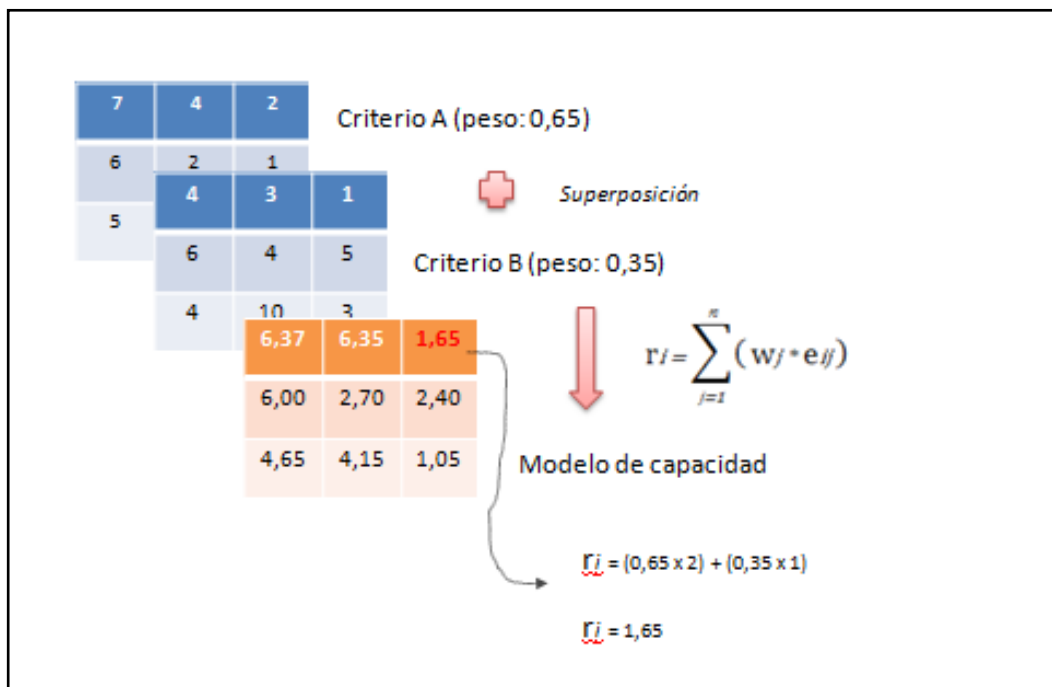
partir de un valor de 100%, asignando valores a cada criterio hasta alcanzar el total (*Peso normalizado: valor asignado / Σ de los valores*), los valores se fijaron en relación a lo estudiado y evaluado en terreno.

Una vez diseñado el modelo de decisión y las coberturas de información, éstas fueron integradas a través de la técnica de Sumatoria Lineal Ponderada (Figura 9), que es una de las más utilizadas en modelos desarrollados en SIG que trabajan con formato raster. Utilizando esta técnica el valor obtenido para cada alternativa es el producto del peso del criterio y los valores otorgados al criterio (0 a 3), la alternativa de valor más alto será la más óptima para la ubicación de la actividad que se quiere realizar (Gómez y Barredo, 2005). Esta se obtiene sumando el resultado de multiplicar cada criterio por su peso:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (w_j * e_{ij})$$

Donde, r_i es la capacidad del terreno para la localización de las áreas prioritarias, w_j es el peso del criterio j , e_{ij} es el valor de la alternativa i en el criterio j y n es el número de criterios involucrados en la investigación.

Figura 9. Modelo espacial de integración



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Gómez y Barredo (2005).

Los valores más altos alcanzados (Γ_i), indican los sectores de mayor potencial para restauración (escenario 1 y escenario 2). Una vez identificados, se aplica la limitante, la cual se integra a través de un proceso de álgebra de mapas en una capa binaria (1 – 0), en donde cada restricción (a nivel de celda) es multiplicada con la cobertura espacial que contiene los valores de capacidad de acogida (Γ_i), de esta manera se extraen todas las alternativas limitantes o restrictivas, obteniendo la zonificación final. A partir de este cruce de valores se obtienen las siguientes combinaciones, de las cuales se extrae el potencial de restauración (ver Tabla 3).

Tabla 3. Combinación de valores para selección de áreas prioritarias

L \ F	0	1	2	3
0	0	0	0	0
1	0	1	2	3

	Restricción y nulo potencial de restauración		Regular potencial de restauración
	Bajo potencial de restauración		Alto potencial de restauración

F: Factores y L: Limitantes. Fuente: Elaboración propia, año 2012

Es importante destacar que los criterios fueron asignados en una escala de análisis definida (microcuenca hidrográfica), la cual en primera instancia fue trabajada en el modelo vectorial, pero posteriormente una vez asignados los valores por criterio, se transformaron a formato raster, por lo cual los valores fueron sumados y multiplicados a nivel de celda. Este procedimiento se realizó mediante la utilización del software ArcGis 9.3, en el módulo Spatial Analyst, en la herramienta “Polygon to raster”, donde se convierte una capa temática en formato vectorial a una base de celdas raster.

CAPÍTULO 4:

RESULTADOS

7. Caracterización del área de estudio para la identificación de criterios

La caracterización ambiental del área de estudio se realizó con la finalidad de identificar los componentes bióticos y abióticos más relevantes en la priorización de áreas a restaurar en IRC. Mediante esta caracterización se buscan los factores y limitantes para utilizar en el modelo de decisión multicriterio, el cual está basado en el objetivo de restauración que se aplicara en las áreas seleccionadas.

Este objetivo seguirá la línea ya trabajada durante 12 años por CONAF, Aves Chile, la Fundación estadounidense Oikonos y los miembros de la comunidad fernandeziana, que consiste en el control mecánico de plantas invasoras. Esta es una técnica que busca eliminar las especies introducidas *Rubus ulmifolius* y *Aristotelia chilensis*, a través de su extracción, las que en IRC han desarrollado un matorral denso que bordea, envuelve y se establece en el bosque nativo. Las especies invasoras *R. ulmifolius* y *A. chilensis* se establecen preferentemente en los claros de dosel de gran tamaño (>150m²), donde encuentran nichos de establecimiento (Arellano, 2012).

Con el control de especies invasoras, se busca asistir la recuperación de la vegetación originaria en áreas invadidas del bosque. La idea es priorizar las áreas de la superficie total invadida (incluyendo el matorral de *Ugni molinae*), para la posterior aplicación de esta técnica de control y asistir al sistema en su recuperación. Por lo tanto, es fundamental caracterizar y conocer el área de estudio, para así determinar cuáles son los criterios que deben ser incluidos en la selección de los sitios.

7.1 Medio ambiente físico

i. Clima y meteorología

La isla Robinson Crusoe se encuentra al borde suroriental del anticiclón del Pacífico sur, por lo cual se caracteriza por presentar un clima del tipo “Templado cálido lluvioso con estación seca de 4 a 5 meses”, el cual se ve fuertemente influenciado por las características orográficas de la isla, las cuales alteran en gran medida los componentes meteorológicos.

Las precipitaciones son de carácter frontal en invierno y convectivas en verano, registrándose los máximos de precipitaciones en la época invernal (lo que llueve en estos meses es el 60% total anual) y una estación seca de Noviembre a Febrero. Los promedios mensuales son del orden de 30 mm y el total anual es mayor a 1.000 mm.

Las temperaturas están reguladas por la influencia del mar, la amplitud térmica anual es de sólo 6,4° C entre el mes más cálido y el más frío. No muy diferente es la situación de la amplitud térmica diaria que es de 5,2° C en promedio. El mes más cálido es Febrero

con una media que no supera los 22° C y el mes más frío es Agosto con una media que no desciende de los 10° C.

La humedad alcanza altos valores por la cercanía e influencia del mar. Esta tiene una media anual del orden del 75%, sin existir más del 5% de diferencia entre la humedad de las épocas más húmedas y más secas.

Los vientos en la isla son esencialmente de dirección sur durante todo el año y las máximas intensidades se dan en invierno, donde alcanzan los 16 km/hora como promedio (Dirección Meteorológica de Chile, 2012).

La isla Robinson Crusoe cuenta con una estación meteorológica desde el año 1960, la cual fue trasladada a otro lugar en el año 1978, contando con continuidad de datos históricos hasta el año 2010. Un estudio realizado por K. Kremer y C. Smith en el año 2011, analizó las variables meteorológicas presión al nivel del mar, temperaturas medias y extremas, precipitación acumulada y máxima en 24 hrs y, velocidad – dirección del viento, las que definen una tendencia climática casi invariable a lo largo de los años. La temperatura media anual mostró una tendencia levemente descendente al igual que los promedios de temperaturas extremas y las precipitaciones. A diferencia de la presión atmosférica y la velocidad media del viento a lo largo de los años tendió a aumentar.

Se indica en este estudio que a pesar de mostrar las variables meteorológicas una tendencia más bien lineal, existen desviaciones muy poco pronunciadas, que se relacionan con la tendencia general del clima en el Pacífico sur que pronostica una disminución de la temperatura superficial producto del cambio climático, contrario al aumento de las temperaturas a nivel global (Falvey y Garrearud, 2009).

ii. Sistema hídrico

La red hidrográfica en la isla Robinson Crusoe tiene distintas formas de drenaje. La principal alimentación son las precipitaciones directas y también el almacenamiento subterráneo, el cual aflora en la superficie a través de vertientes y manantiales (IREN, 1982). Generalmente los cursos de agua se observan como caídas de agua o cascadas, también en sectores de cordones montañosos bajos con desarrollo de vertientes que desembocan sus aguas a nivel y desnivel del mar, y en farellones rocosos los cuales son disectados por drenaje ocasional. A pesar de esto, en la isla no existen sistemas fluviales de gran envergadura, solo cauces de escurrimiento temporal. La clasificación del sistema de drenaje de IRC está conformado por 10 cuencas hidrográficas mayores, 12 cuencas menores y varios sectores drenados por sistemas juveniles (IREN, 1982), determinados en base al grado de evolución o desarrollo del sistema de drenaje. Según lo establecido en el Estudio de los Recursos Físicos del Archipiélago Juan Fernández, los sistemas de drenaje más juveniles se presentan cerca de los farellones rocosos, con pendientes sobre 60°, sólo en algunos casos en cordones de cerros bajos, lo que implica la existencia de laderas de poca extensión y de pendiente considerable (30 – 45°). En cambio los sistemas de drenaje mayores presentan pendientes entre 5 y 10° en su sección inferior, la

que aumenta gradualmente hacia la sección media y hacia la sección alta de manera abrupta, lo que es condicionado por la morfología.

iii. Geología y geomorfología

Las islas oceánicas que componen el archipiélago son de naturaleza volcánica, están asociadas a las dorsales submarinas del Pacífico (Dorsal de Juan Fernández) en donde la actividad eruptiva es del tipo fisural (en el centro de la dorsal). Estas se presentan en un alineamiento montañoso progresivo de edades a medida que se alejan de las regiones de altas temperaturas ubicadas por debajo de la litosfera (puntos calientes). Estas islas forman parte de un cordón volcánico submarino que se desarrolla a una profundidad media de 1.000 metros, el cual está conformado por el archipiélago de Juan Fernández y cuatro montañas submarinas, con una extensión de 400 kilómetros de largo y 50 kilómetros de ancho (Bruggen, 1950), *“como parte de una cordillera sumergida que se extiende al norte, en forma casi paralela a la costa de Chile continental, hasta otro cordón submarino orientado Este-Oeste en el que emergen las islas Desventuradas”*¹³.

En relación a su antigüedad y origen, hace unos tres millones de años se originó un ducto volcánico que ascendió hacia la superficie perforando el fondo marino, explotando un enorme volumen de magma líquido que originó a la parte este de la Isla Robinson Crusoe (la cual quedó localizada sobre la placa de Nazca). Más tarde otra erupción del mismo punto caliente, perforó nuevamente el fondo submarino a una distancia aproximada de 1 km de la primera explosión, generándose así la isla Santa Clara y la parte oeste de la IRC. Posteriormente la erosión sumergió la porción que unía la isla Santa Clara con la parte oeste de la IRC. Miles de años después (1,3 a 0,85 mill. de años) ocurrió nuevamente un fenómeno similar a unos 170 km de distancia, generándose la isla más joven, Marinero Alejandro Selkirk (González – Ferrán, 1987).

Estructuralmente al ser islas de origen volcánico, adquieren monotonía litológica. En particular la isla Robinson Crusoe se presenta como una secuencia poco perturbada de corrientes lávicas normalmente de composición básica, alternadas con depósitos de aglomerados y tobas. Contiene evidencias de un origen volcánico de carácter basáltico en donde estructuran distintos periodos de actividad, pudiendo delimitarse cuatro secuencias geológicas. Básicamente la composición geológica de la IRC consiste en potentes macizos estratificados que están atravesados por diques de similar composición petrográfica (IREN, 1982).

El conjunto de islas del archipiélago de Juan Fernández, como ya se mencionó, tiene origen volcánico asociado a fenómenos geológicos-estructurales. La evolución morfológica de estos cuerpos volcánicos da resultado a las estructuras escarpadas que se

¹³ Extraído desde la página 12 de “Estudio de los recursos físicos del Archipiélago de Juan Fernández. IREN Mayo 1982”.

observan en las tres islas, lo cual, sumado al clima de marcada influencia oceánica, a la acción abrasiva marítima y a la acción antrópica, determinan las formas geomorfológicas. La isla Robinson Crusoe, se desarrolla a través de una morfología abrupta, con potentes macizos estratificados (Figura 10), acantilados de gran altura y procesos de modelamiento de formas muy activas (Cerde, 2005).

La isla Robinson Crusoe alcanza una superficie de 4.793,2 ha, su eje mayor comprende un largo aproximado de 15 kilómetros y 6 kilómetros de ancho. Su topografía es montañosa con pequeños valles y quebradas encajonadas por frentes de altura y grandes pendientes (IREN, 1982).

Figura 10. Macizos estratificados de la isla Robinson Crusoe

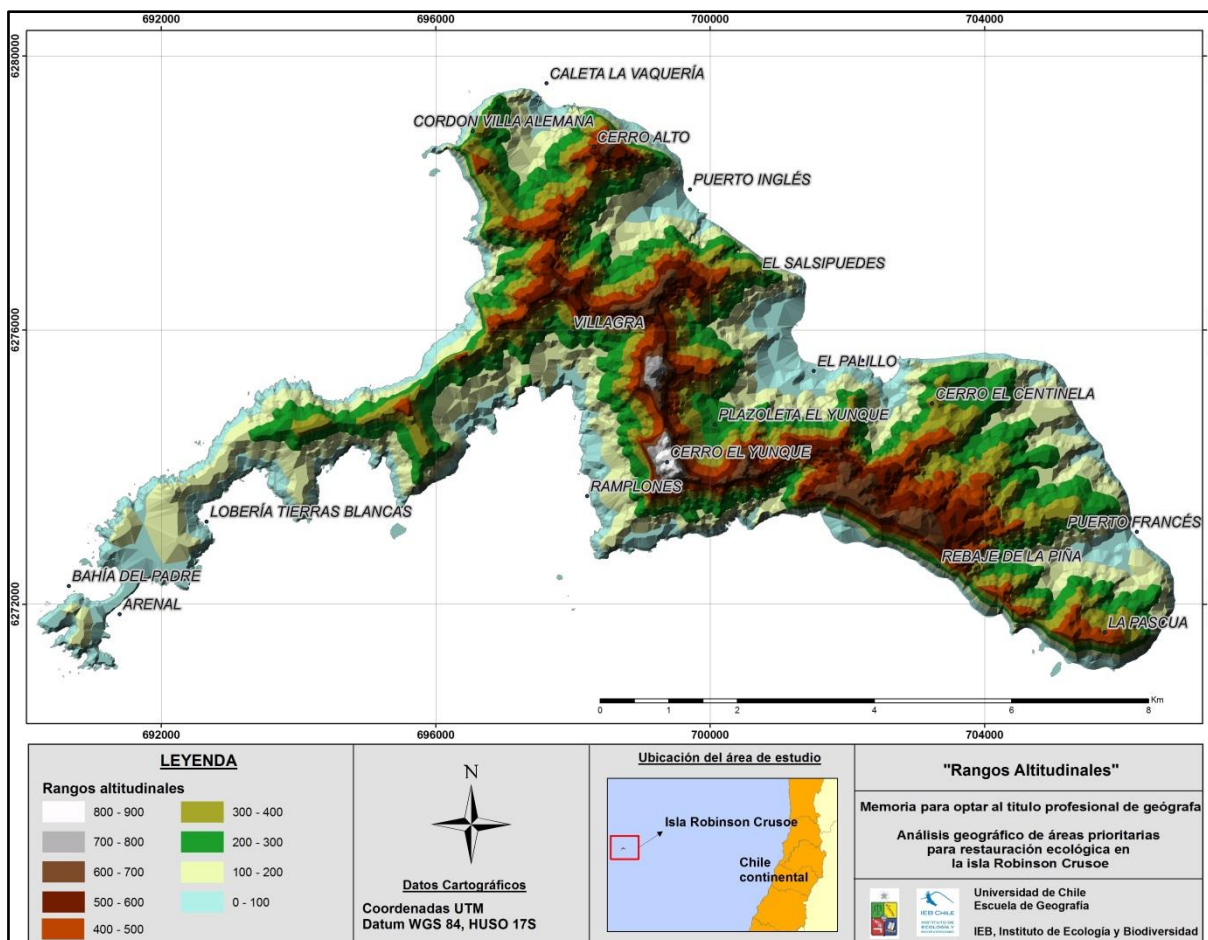


Fuente: Material fotográfico de terreno, Diciembre 2010

La altitud del área de estudio, se caracteriza por aumentar desde la línea de costa hacia el interior, presentándose su mayor alcance altitudinal en un cordón central que cruza de manera irregular desde el noroeste al sureste. El mayor desnivel es el cerro El Yunque el cual alcanza los 915 m s.n.m. de roca muy escarpada, seguido por una serie de alturas sobre los 600 m s.n.m. en el sector norte de IRC (Figura 11). La línea costera de la isla es generalmente abrupta hacia el mar, donde se desarrollan profundas quebradas orientadas

perpendicularmente al mar desde grandes acantilados, los cuales están condicionados por su origen geológico y geomorfológico en relación a su modelamiento (IREN, 1982), lo cual refleja una gran variación altitudinal en cortas distancias.

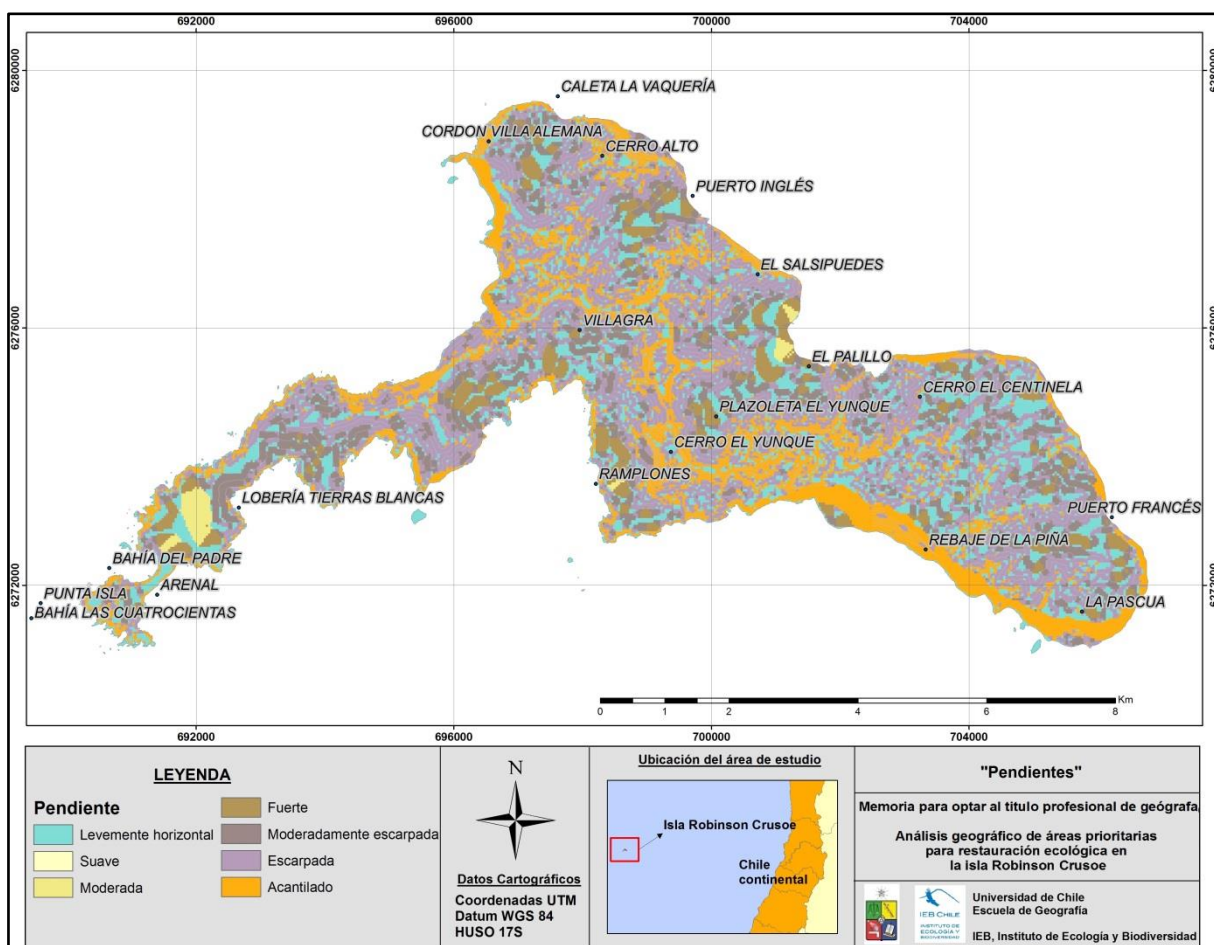
Figura 11. Rangos altitudinales en IRC



Fuente: Elaboración propia a partir de curvas de nivel 1:50.000, año 2012.

La distribución espacial de la pendiente está determinada por las características morfológicas del área de estudio (IREN, 1982). Condicionando así sus rangos y valores, los cuales son fácilmente observables en las paredes verticales que descienden hacia el mar, en las abruptas quebradas y en planos casi verticales al interior (ej. sector La Piña, quebrada Corrales de Molina y cerro El Yunque). En general son pocos los sectores que presentan una pendiente de horizontal a moderada, siendo los más evidentes los sectores de Vaquería, bahía de Cumberland, bahía del Padre, Puerto Francés y Puerto Inglés (Figura 12).

Figura 12. Pendiente en IRC



Fuente: Elaboración propia a partir de curvas de nivel 1:50.000, en base a clasificación de Araya-Vergara & Börgel (1972)

Otro rasgo distintivo en relación a los indicadores geomorfológicos es la exposición, la cual se ve diferenciada de manera muy pronunciada dentro de IRC. Dada la experiencia en terreno se puede indicar que existe un notorio efecto de esta variable en laderas que están expuestas a una alta insolación (laderas norte y noroeste, como por ej. el sector de Vaquería y Piedra Agujereada), secándose la vegetación de manera temprana, quedando el suelo descubierto, lo que ayuda a la acción erosiva del agua (IREN, 1982). Comúnmente las fuertes lluvias provienen en conjunto con un fuerte viento desde el suroeste por lo que las laderas de esta exposición también quedan expuestas, (especialmente sectores donde existe un nulo o muy pobre desarrollo de la vegetación, como el sector de Bahía del Padre) aumentando su impacto erosivo y presentando efectos de denudación muy notorios (Obs. personal).

iv. Suelos

Un solo estudio de suelos se ha realizado en el archipiélago de Juan Fernández, hecho por IREN en el año 1982. En este estudio se indica que la isla Robinson Crusoe se caracteriza por ser un ecosistema de condiciones precarias y esencialmente frágiles desde el punto de vista de los suelos. Las alteraciones exógenas pueden causar inestabilidad y desequilibrio del ciclo ecológico que consecuentemente significará la pérdida de cobertura vegetal, acumulación de sedimentos en quebradas y posteriores derrumbes, deslizamientos y fuerte erosión.

El material parental de origen volcánico, presenta dos discordancias de origen. De manera preferente son de origen efusivo (fisural) y de orden explosivo (volcanismo eruptivo). Además en el estudio de IREN se indica que en el sector central de IRC, justamente en los sectores que están cubiertos por bosque, existe un manto cinerítico de cenizas volcánicas, de origen más reciente y discordante que el sustrato común. Su origen aún es dudoso, el cual se atribuye a posibles erupciones en centros volcánicos de tipo central próximos a la isla. En relación a los tipos de suelos, si se aumenta el nivel de detalle también es posible encontrar depósitos dunarios del tipo eólicos, que originan suelos particulares.

La disposición de los suelos en el área de estudio está fuertemente asociada, a su material de origen y a la vez a las condiciones ambientales donde se localizan, es así como los diferentes rangos altitudinales, pendiente, exposición, diferencias de humedad, precipitación, las distintas coberturas vegetacionales, el proceso de rejuvenecimiento morfológico y la presión antrópica generaron una descripción diferenciada de sustrato en relación a su composición y estructura, los cuales presentan distintos tipos de desarrollo relativo:

- **Suelos de montaña de desarrollo incipiente derivado de cenizas volcánicas:**

Tipo de suelo que comprende una superficie de 28,77 % del territorio insular (1.356 ha). Están ubicados por sobre los 250 m s.n.m., en pendientes fuertes. Su origen es derivado de cenizas volcánicas, son delgados y tienen horizontes superficiales con gran cantidad de material orgánico, de texturas medias a moderadamente gruesas, ligeramente estructurados de bloques sub-angulares, provenientes desde las fuertes pendientes. En general debido a la cantidad de materia orgánica y su cobertura vegetal, estos suelos no parecen evidentemente afectados por procesos de erosión, sólo una ligera erosión laminar en sectores de fuertes pendientes. Es importante conservar estos tipos de suelos debido a la vegetación que sostiene, por lo que debe tomarse en cuenta el potencial erosivo, el cual es altísimo (Castillo *et al.*, 2012) debido a los rangos de pendientes y a su morfología. Se localizan en el área central de mayor altura y cubierta vegetal de IRC, entre los sectores de La Pascua, cordón de Chifladores, El Yunque, cerro Alto y áreas de alturas cercanas al cerro Tres Puntas.

▪ **Suelos de relieve intermedio y mayor desarrollo relativo:**

Tipo de suelo que corresponde a la segunda agrupación más importante de IRC, ocupa una superficie de 15,82%, abarcando 705 ha. Corresponden a un tipo de suelo de posición intermedia a baja, ubicada en lomas, laderas de quebradas, áreas de piedmonte, planicies inclinadas remanentes disectadas por procesos degradacionales, en ellos son comunes los procesos aluviales-coluviales y coluviales que vienen mezclados con materiales detríticos de sectores altos. Es posible encontrar estos suelos en superficies desde el 20 al 60% de pendiente. El sustrato es de afloramientos rocosos en los sectores más bajos de los filos montañosos, lavas interestratificadas de conjunción de deslizamientos y derrumbes; en otros sectores estos suelos comprenden materiales de tobas de texturas limosas y colores rojizos, que tienen un buen desarrollo. Geográficamente se distribuyen en los sectores de Vaquería, Puerto Inglés, Bahía Cumberland, Pangal, Piedra Agujereada y Puerto Francés.

▪ **Suelos de carácter deposicional en relieves semi estabilizados:**

Este tipo de suelos ocupa un 4,34% de la superficie de IRC, abarcando un total de 204 ha. Son suelos con un moderado desarrollo de perfil, los cuales están muy modificados por factores erosivos. Se desarrollan en pendientes casi horizontal y moderadamente inclinadas. Son de texturas finas que se ubican sobre sustratos de tipo aglomerados y lávico. Estos se localizan en los sectores de Villagra y aeropuerto en Punta Isla y se componen de una cobertura vegetal esencialmente herbácea.

Este tipo de suelos presenta desde una moderada a fuerte erosión, dependiendo del sector. Es así como el sector de Villagra presenta una fuerte inestabilidad de los materiales que componen la serie, que son aporte de los sectores más altos, resultantes de procesos degradacionales tales como derrumbes, procesos de formación de cárcavas y erosión en general, que se traduce en área sumamente alterada. A su vez el sector del aeropuerto presenta una pendiente más horizontal, donde la erosión es principalmente del tipo eólico.

▪ **Suelos Misceláneos:**

Este tipo de suelos, está conformado por todas aquellas áreas que no pudieron ser integradas como una unidad o serie de suelo. En ellos existe áreas sumamente degradadas (en casos fueron parte de otras series de suelo de gran desarrollo que fueron alteradas), donde los procesos erosivos están activos y la inestabilidad de los materiales es latente. También se incluyeron suelos asociados a depositaciones eólicas y sectores que prácticamente no presentan suelo. Geográficamente comprenden los sectores específicos de la serie Villagra, entre el cerro Tres Puntas – Villagra y el aeropuerto, incluyendo áreas de acantilados, paredes rocosas, filos montañosos, cerros y sectores de sustrato desnudo donde los fenómenos erosivos han sido catastróficos, comprendiendo un total de 2.310 ha que abarcan el 47,88% de la superficie de IRC (IREN, 1982).

7.2 Medio ambiente biótico

i. Vegetación

Los primeros antecedentes y colecciones sobre las especies del archipiélago datan del año 1823 (Vargas, 2004). Johow ya en el año 1896 realiza la primera investigación rigurosa, la cual es continuada por Skottsberg en 1953, quien desarrolló uno de los trabajos más completos sobre la flora de IRC y el archipiélago (Hoffman y Marticorena, 1987). La investigación más reciente sobre la flora vascular es la realizada por Phillippe Danton y Christopher Perrier del año 2006, comprendiendo un listado de especies, su estado de conservación, estadísticas y localización para las tres islas del archipiélago.

Los tipos de vegetación que componen la isla Robinson Crusoe están asociados a las características de sustrato, relieve, altura, orientación, erosión y degradación física del suelo. De esta manera se pueden diferenciar de manera clara distintas composiciones vegetales en toda su extensión. Sobre todo si estas, se analizan en base a su perfil altitudinal.

A modo general en el área de estudio se pueden diferenciar siete coberturas vegetacionales, que se traducen en siete unidades homogéneas de paisaje¹⁴ (Figura 20), éstas son: bosque nativo bajo, bosque nativo de altura, asociación de *Rubus-Aristotelia*, matorral de *Ugni molinae*, plantaciones forestales, vegetación herbácea y áreas sin vegetación.

▪ **Bosque nativo bajo:**

Cobertura correspondiente a bosque siempreverde, donde pueden encontrarse especies arbóreas como *Drimys confertifolia* (canelo de Juan Fernández) y *Boehmeria excelsa* (manzano de Juan Fernández). La especie más abundante y dominante es *Nothomyrcia fernandeziana* (luma) (ver Figura 13). Este tipo de bosque se encuentra en ciertos sectores deteriorados por la acción de especies exóticas invasoras como *Rubus ulmifolius* (mora), *Aristotelia chilensis* (maqui), *Nasua nasua* (coatí), *Oryctolagus cuniculus* (conejo europeo) y *Rattus rattus* (ratas), especies que han sido primordiales para el deterioro de su fisonomía original (CONAF, 2009).

Esta cobertura comprende un total de 743, 74 ha (Día, 2013).

¹⁴ Se llama unidad homogénea de paisaje, a las áreas que son similares entre sí en relación a su composición vegetal, fisonomía y características.

Figura 13. Bosque nativo bajo



Fuente: Registro fotográfico terreno (2011), en las fotos se observa la dominancia de *N. fernandeziana*.

▪ **Bosque nativo de altura:**

Esta cobertura es de características prístinas, ya que se localiza geográficamente en sectores de difícil acceso. Corresponde a un bosque siempre verde (ver Figura 14) donde dominan las especies *Fagara mayu* (naranjillo de Juan Fernández), *Drimys confertifolia* (canelo de Juan Fernández) y *Nothomyrcia fernandeziana* (luma), acompañados de *Juania australis* (palma chonta) y un sotobosque rico en especies nativas y endémicas, especialmente helechos de los géneros *Dicksonia*, *Blechnum*, *Thyrsopteris*, *Megalastrum*, *Asplenium*, *Polystichum* e *Hymenophyllum* (CONAF, 2009).

Esta cobertura comprende un total de 271,05 ha (Díaz, 2013).

Figura 14. Bosque nativo de altura



Fuente: Registro fotográfico terreno (2011), en las fotografías se observa la presencia de helechos arbóreos del género *Blechnum*.

- **Asociación de *Rubus-Aristotelia*:**

Cobertura dominada por el ensamble de las especies introducidas *Aristotelia chilensis* (maqui) y *Rubus ulmifolius* (zarzamora) (ver Figura 15), muchas veces observado en parte del sotobosque del bosque nativo y localizado en gran parte de IRC (Díaz, 2013 y obs. personal), ocupando el hábitat de las especies endémicas.

Esta cobertura comprende un total de 807.72 ha (Díaz, 2013).

Figura 15. Asociación de *Rubus-Aristotelia*



Fuente: Registro fotográfico terreno (2011), en las fotografías se observa el ensamble de maqui y mora.

- **Matorral de *Ugni molinae*:**

La especie introducida *Ugni molinae* (murtilla o murta) se desarrolla principalmente en altura, en cordones desprovistos de vegetación en IRC, formando densos matorrales (ver Figura 16) que pueden una vez consolidados, desplazar y competir con la vegetación nativa (CONAF, 2009). Esta cobertura comprende un total de 119.37 ha (Díaz, 2013).

Figura 16. Matorral de *Ugni molinae*



Fuente: Registro fotográfico terreno (2011), se puede observar el denso matorral de murta.

- **Plantaciones forestales**

Las especies principales de esta cobertura son introducidas, éstas son: *Eucalyptus globulus* (eucaliptus), *Cupressus macrocarpa* (ciprés) y *Pinus radiata* (pino). Históricamente, estas especies fueron introducidas para control de erosión en las cercanías del poblado San Juan Bautista y para su uso como recurso maderero, hoy la distribución de este tipo sobrepasa los límites originalmente ideados (ver Figura 17), dispersándose de forma autónoma, aumentando su rango de distribución (CONAF, 2009).

Esta cobertura comprende un total de 110.87 ha (Díaz 2013).

Figura 17. Plantaciones forestales



Fuente: Registro fotográfico terreno (2011), se observa la distribución de las plantaciones forestales.

- **Vegetación herbácea**

Esta cobertura vegetal se desarrolla generalmente en sectores de bajas a moderadas pendientes (ver Figura 18); en ella se consideraron praderas las cuales están dominadas por *Festuca sp.* (coirón), pangales dominados por *Gunnera sp.* (pangues), agrupaciones de helechos esencialmente *Histiopteris incisa* y otro tipo de herbáceas, las que se desarrollan en gran extensión, principalmente especies exóticas como *Conium maculatum* (cicuta), *Acaena argentea* (trun) y *Rumex acetosella* (vinagrillo) (Díaz, 2013).

Esta cobertura comprende un total de 769,51 ha (Díaz, 2013).

Figura 18. Vegetación herbácea



Fuente: Registro fotográfico terreno (2011), vista a praderas.

- ***Sin vegetación***

Esta cobertura, se caracteriza por comprender sectores desprovistos de vegetación debido a procesos erosivos y deforestación, además de áreas costeras, como acantilados y roquerios. Se localizan en los sectores de Bahía del Padre y Puerto Francés, grandes extensiones desprovistas de vegetación, las cuales favorecen la degradación del suelo, en algunos casos evidenciándose graves consecuencias como, acarcavamiento, reptación y derrumbes, sobre todo por efecto de intensas lluvias (obs. personal en terreno) (ver Figura 19).

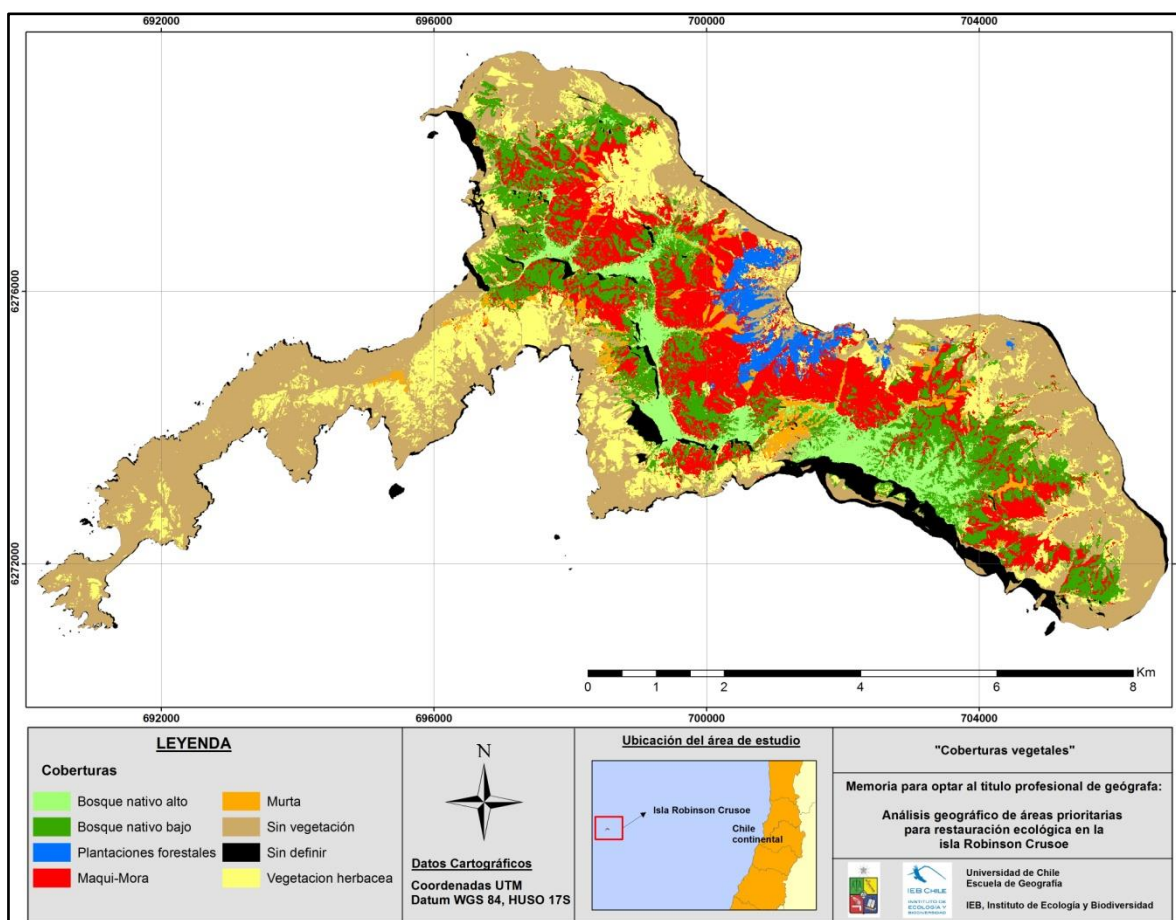
Esta cobertura comprende un total de 1709,49 ha (Díaz, 2013).

Figura 19. Sin vegetación



Fuente: Registro fotográfico terreno (2011), vista a cárcavas en sector La Piña.

Figura 20. Coberturas vegetales IRC



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Díaz, 2013

Ya descritas las principales coberturas vegetacionales del área de estudio, es interesante conocer el bosque nativo subtropical húmedo de la isla Robinson Crusoe, en sus dos ensamblajes (bosque montano bajo y alto). Este tiene una composición de gran trascendencia científica, debido a su alta tasa de endemismo por unidad de superficie que alcanza el 63,4% (Arroyo, 1999), representada a nivel de especies (ej. *Yunquea Tenzii*), géneros (ej. *Dendroseris*) e incluso una familia mono específica (*Lactoridaceae*).

Para el total del AJF, 213 taxones son nativos, de los cuales 135 son endémicos estrictos (63,4%) y dos endémicos de Chile (0,9%). Específicamente para IRC, 149 taxones son nativos, 91 son endémicos estrictos (61,1%) y dos endémicos de Chile (1,3%) (Danton & Perrier, 2006).

El alto nivel de endemismo, sumado a una alta amenaza ha llevado a priorizar a estas especies bajo categorías de conservación. En la actualidad al menos ocho especies de plantas vasculares han desaparecido en el AJF (*Chenopodium nesodendron*, *Empetrum rubrum*, *Eryngium sarcophyllum*, *Notanthera heterophylla*, *Robinsonia berteroi*, *Robinsonia macrocephala*, *Podophorus bromoides* y *Santalum fernandezianum*) (Danton & Perrier,

2006). Y para otras, quedan muy pocos ejemplares, como es el caso de *Dendroseris neriifolia* y *Elaphoglossum squamatum*, que registran tan sólo dos y un ejemplar respectivamente (CONAF, 2010).

Debido a la rareza, riqueza, abundancia y categoría de conservación de las especies endémicas en el AJF, es que el Parque Nacional Archipiélago de Juan Fernández ha elaborado un Plan Nacional de conservación de especies endémicas en peligro crítico de conservación¹⁵, identificando aquellos *taxas* más vulnerables y en riesgo de extinción. Se seleccionaron 29 especies endémicas a partir de un índice calculado en función de su N° de poblaciones, N° de individuos, estado de hábitat y viverización. Éstas fueron designadas a los guardaparques de la unidad protegida con la finalidad de realizar y mejorar su monitoreo, seguimiento, reproducción, conservación *ex situ* (viverización) y localización. Son las siguientes (descritas en el PNC):

Tabla 4. Especies del plan nacional de conservación

N°	ESPECIE	N°	ESPECIE	N°	ESPECIE
1	<i>Notholaena chilensis</i>	11	<i>Dendroseris macrophylla</i>	21	<i>Azara serrata var. Fernandeziana</i>
2	<i>Asplenium macrosorum</i>	12	<i>Dendroseris micrantha</i>	22	<i>Haloragis sp.</i>
3	<i>Asplenium stellatum</i>	13	<i>Dendroseris pinnata</i>	23	<i>Cuminia eriantha</i>
4	<i>Trichomanes ingae</i>	14	<i>Dendroseris regia</i>	24	<i>Nicotiana cordifolia</i>
5	<i>Elaphoglossum squamatum</i>	15	<i>Robinsonia saxatilis</i>	25	<i>Colletia spartioides</i>
6	<i>Centaurodendron dracaenoides</i>	16	<i>Yunquea tenzii</i>	26	<i>Marguracaena skottsbergii</i>
7	<i>Centaurodendron palmiforme</i>	17	<i>Wahlenbergia larrainii</i>	27	<i>Urtica masafuerae</i>
8	<i>Dendroseris berteroana</i>	18	<i>Chenopodium cruseoanum</i>	28	<i>Greigia berteroi</i>
9	<i>Dendroseris gigantea</i>	19	<i>Chenopodium nesodendron</i>	29	<i>Gavilea insularis</i>
10	<i>Dendroseris macrantha</i>	20	<i>Chenopodium santaclarae</i>		

*No se indican nombres comunes, porque en su mayoría no los tienen.

Fuente: Plan Nacional de Conservación de Especies AJF, CONAF (2010)

Actualmente se están realizando esfuerzos de monitoreo de estas especies, los cuales a la fecha han arrojado algunas modificaciones en los ejemplares registrados. Estos registros debido a los problemas de conservación presentes en el archipiélago, se han transformado en prioritarios, ya que al relacionarlos con la alta tasa de invasión por el matorral de maqui, mora y murta (Figura 20) se presume un riesgo inminente hacia las especies referidas, aumentando así las posibilidades de que ocurra una novena extinción.

ii. Fauna

La fauna del archipiélago a diferencia de lo que ocurre con la flora, no presenta mucha riqueza biológica, la cual está determinada por la superficie insular y la distancia al continente u otras islas (CONAF, 2009). La mayoría de los vertebrados terrestres nativos

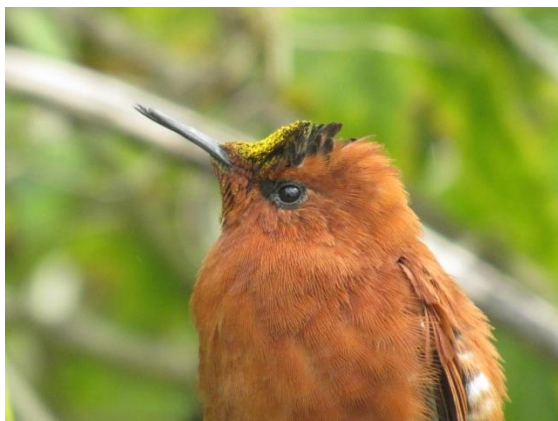
¹⁵ Elaborado por el Parque Nacional y CONAF V Región de Valparaíso, publicado el año 2010.

son de la Clase Aves (insectívoras, frutícolas y marinas), además de una especie de la Clase Mammalia (*Arctocephalus philippii*-Lobo fino de dos pelos), no existiendo otros mamíferos, reptiles y anfibios originarios (ver Figura 21).

En el caso de las aves, se registran sólo nueve especies de aves terrestres, de las cuales tres de ellas son endémicas, éstas son: *Sephanoides fernandensis* (picaflor de Juan Fernández), *Anairetes fernandezianus* (cachudito de Juan Fernández), ambas especies de distribución en IRC y *Aphrastura masafuerae* (rayadito de Masafuera), presente en la isla Alejandro Selkirk (CONAF, 2009).

Existen también dos subespecies de aves endémicas, *Falco sparverius fernandezianus* (cernícalo de Juan Fernández) presente en IRC e IAS y *Cinclodes oustaleti baeckstroemii* (churrete de Juan Fernández), presente en IAS. En relación a las aves marinas, nidifican cinco especies de petreles en AJF, cuatro del género *Pterodroma* y una del género *Fregatta*, además de una especie de fardela (*Puffinus creatopus*) (CONAF, 2009).

Figura 21. Fauna endémica del AJF



Picaflor de Juan Fernández



Lobo fino de dos pelos

Fuente: Registro fotográfico terreno (2011)

Además de las especies originarias del archipiélago, es posible encontrar especies introducidas, las cuales arribaron de forma voluntaria e involuntaria. Estas provocan serias alteraciones en el ecosistema insular, afectando la regeneración natural y el normal desarrollo de las especies nativas de flora y fauna, produciendo problemas de depredación y también actuando como agentes de dispersión de flora introducida invasora (Smith *et al.*, 2013). Algunas de las especies introducidas más problemáticas son: *Turdus falcklandii* (zorzal), *Oryctolagus cuniculus* (conejo), *Nasua Nasua* (coatí), *Capra hircus* (cabra) (ver Figura 22), tres especies de roedores (*Mus musculus*, *Rattus norvegicus* y *Rattus rattus*), *Felis catus* (gato asilvestrado), además del ganado bovino y equino.

Figura 22. Fauna introducida



Caza autorizada de cabra



Coatíes

Fuente: Registro fotográfico terreno (2011)

7.3 Medio humano

i. Antecedentes generales

El archipiélago fue descubierto el 22 de Noviembre de 1574 por el piloto Portugués Juan Fernández, tras buscar una ruta más expedita entre los puertos de Callao en Perú y Valparaíso en Chile. Durante los siglos XVII y XVIII, debido a fracasos en el intento de colonizar por su descubridor y posteriormente por los jesuitas, se transformó en refugio para piratas y corsarios. Recién en el año 1750 el gobierno español decide colonizar y fortificar la isla de Másatierra, fundando el poblado de San Juan Bautista, el que se transformó, gracias a su aislamiento, en presidio. Posteriormente, debido a distintas causas, como desastres naturales, desordenes y rebeliones los pobladores emigran al continente. Lo cual permitió que en el siglo XIX ocurrieran prácticas ilegales de caza de lobos, por parte de loberos ingleses, franceses y norteamericanos (DIBAM, 2014).

En 1814 tras el desastre de Rancagua por la independencia de Chile, un número de patriotas chilenos son desterrados a la isla de Másatierra, como Manuel Blanco Encalada, Juan y Mariano Egaña, Manuel de Salas, José Ignacio Carrera Pinto y Luis Ovalle, un incendio destruyó sus casas, por lo que tuvieron que hacer cuevas en los cerros y se vieron obligados a vivir en ellas (cuevas de los Patriotas) (DIBAM, 2014). Una vez que Chile declara su independencia en 1818, los patriotas son liberados, regresando al continente, quedando la isla despoblada, siendo años más tarde utilizada como presidio.

Las islas del archipiélago fueron declaradas territorio chileno en 1819 y la colonización definitiva de Másatierra ocurrió en el año 1877 cuando se designa al suizo Alfred Von Rodt liderar la colonización junto a pobladores del sur de Chile¹⁶.

¹⁶ Fuente: Antecedentes turísticos de Endémica Expediciones

La población actual de Juan Fernández se localiza en los sectores más habitables y que permiten el desarrollo de su actividad económica; históricamente desde los primeros colonos hasta la actualidad el asentamiento humano se ha localizado en el mismo lugar, la bahía de Cumberland. Este poblado ubicado en IRC es el único de carácter permanente, ya que en IAS existe un complejo de pocas casas, que son utilizadas sólo en la temporada para la extracción de langosta, que es la principal actividad económica de la comuna de Juan Fernández¹⁷.

Como ya se ha mencionado el AJF comprende una superficie de más del 90% bajo los límites de Parque Nacional, excluyendo sólo las áreas desafectadas relacionadas con los asentamientos humanos, que son el poblado de San Juan Bautista en la bahía de Cumberland y el sector de bahía del Padre, donde se encuentra el aeródromo (Figura 23).

Figura 23. Asentamientos humanos



Bahía de Cumberland en IRC



Bahía de Cumberland, año 1920 (colección DIBAM)



Poblado de San Juan Bautista



Pista de aterrizaje, aeródromo en bahía del padre

Fuente: Registro fotográfico terreno (2010-2011)

¹⁷Límites administrativos de la comuna de Juan Fernández, comprenden las islas Robinson Crusoe, Alejandro Selkirk y Santa Clara

8. Selección de criterios (factores y limitantes) para la identificación de áreas prioritarias.

La caracterización ambiental permitió conocer los componentes ambientales más relevantes del área de estudio para el logro de objetivos, es así como se identificó que en conjunto con el grave problema de invasión biológica, existe un alto porcentaje de endemismo y presencia de especies con problemas de conservación. Lo que sumado a las características físicas de la superficie insular, como la fuerte pendiente, implican una disminución en las alternativas donde aplicar los planes de control de las 3M.

La selección de criterios se realizó en base al objetivo que persigue este trabajo, los cuales actuarán como punto de referencia para tomar las decisiones de localización, elección que se transforma en la base de la evaluación multicriterio.

Se identificaron los criterios (Tabla 5) que permitirán evaluar las condiciones óptimas para seleccionar las áreas prioritarias. Entre ellos se pudieron diferenciar factores que realzan la capacidad de localización de las alternativas y limitantes que restringen o excluyen la disponibilidad de localización de las mismas (Gómez y Barredo, 2005). Estos criterios están representados en superficies geográficas, por lo tanto son visualizados a través de coberturas temáticas en SIG.

Tabla 5. Criterios seleccionados: factores (F) y limitantes (L).

Componente	Criterios	F	L
Flora y vegetación	Riqueza de especies	X	
	Abundancia por especie	X	
	Conservación <i>ex situ</i>	X	
	Coberturas vegetales	X	
	Distribución de especies invasoras	X	
Geomorfología	Pendiente		X

Fuente: Elaboración propia, año 2012

Los criterios seleccionados fueron validados en conjunto con guardaparques del PNAJF (Ramón Schiller, Oscar Chamorro, Bernardo López, Guillermo Araya, Manuel Tobar, Jorge Angulo, Danilo Arredondo, Mascimiliano Recabarren, Alfonso Andaur), mediante reuniones y campañas de terreno. Conjuntamente se realizó una entrevista *online* a tesisistas e investigadores relacionados con el área de estudio, que dio validez a esta elección¹⁸.

¹⁸ Entrevista realizada en el año 2011 a Inao Vásquez, Gisella Arellano, Diego Tabilo e Ignacio Díaz, participantes en proyectos de conservación y restauración del AJF.

8.1 Los Factores: localización de flora endémica y flora invasora

Una de las preocupaciones más latentes expresadas por guardaparques, conservacionistas, investigadores y tesisistas del archipiélago, es la vulnerabilidad de las especies originarias, en especial las 29 especies consideradas en el PNC. La localización de las especies se transforma en un dato relevante para seleccionar las áreas a restaurar, debido a la vulnerabilidad a la que están expuestos los hábitat donde se localizan, dada su relación espacial con el avance de los límites de distribución de especies invasoras.

En este análisis se integraron 11 especies (del total de 29) (Tabla 6), acordadas en conjunto con guardaparques del Parque Nacional¹⁹. Se consideró para esta selección especies localizadas en el área de estudio (IRC) y especies que registraran una población menor a 200 ejemplares. Importante es destacar, que algunas especies posterior a la publicación del PNC, registraron un cambio en su número de ejemplares, debido al esfuerzo de monitoreo realizado por guardaparques en el año 2010 (ej. *Centaurodendron palmiforme* y *Robinsonia saxatilis*), razón por la cual no fueron integradas en este análisis.

Tabla 6. Lista priorizada de especies endémicas

Especie	Hábito	Nº de ejemplares	C. de conservación
<i>Yunquea tenzii</i>	Arbustivo	23	EN-R
<i>Colletia spatiooides</i>	Arbustivo	26	CR
<i>Elaphoglossum squamattun</i>	Helecho	1	Cr
<i>Greigia berteroi</i>	Herbáceo	29	EN-R
<i>Centaurodendron dracaenoides</i>	Árboreo	88	EN-R
<i>Cuminia eriantha</i>	Árboreo	196	CR
<i>Dendroseris berteroaana</i>	Arbustivo	79	EN-R
<i>Dendroseris nerifolia</i>	Árboreo	2	EN-R
<i>Dendroseris pinnata</i>	Arbustivo	63	EN-R
<i>Azara serrata var. fernandeziana</i>	Árboreo	46	CR
<i>Chenopodium crusoeanum</i>	Arbustivo	50	EN-R

Fuente: Elaboración en conjunto con guardaparques (2010)

Simbología, CR: En peligro crítico; EN: En Peligro; R: Rara, según Procesos de clasificación del MMA

Cr: En peligro crítico según clasificación UICN

**Azara serrata var. fernandeziana* es una subespecie endémica

El fundamento de selección de factores se basó en la localización de las especies prioritarias y su relación espacial con la distribución de las 3M. Ya que las invasiones biológicas al expandir sus rangos de distribución, colonizan las áreas de distribución de

¹⁹ Reunión realizada en el Parque Nacional en Diciembre del año 2010.

especies endémicas, lo que consecuentemente trae consigo importantes cambios bióticos, que pueden significar nuevas extinciones.

A partir de la localización de especies endémicas prioritarias (menos de 200 ejemplares por especie) se define el primer factor de localización: la riqueza de especies, el cual se basa en identificar aquellos sitios que presenten un mayor número de especies por unidad de superficie, como lugar con prioridad de restauración. El listado priorizado advierte grandes diferencias entre las especies, en relación a la cantidad de ejemplares registrados (desde 196 a 1 ejemplares), por esta razón que se define el segundo factor de localización: la abundancia por especie, el cual se basa en potenciar y priorizar aquellos sitios donde se distribuyan las especies que concentren menos ejemplares (ej. *Dendroseris neriifolia* y *Elaphoglossum squamattum* -ver Figura 24- , con dos y un ejemplar, respectivamente).

En relación al contexto donde se distribuyen estas especies se selecciona el tercer factor de localización, que es: la distribución espacial de las coberturas vegetales donde se encuentran las especies prioritarias, es decir el bosque montano alto y bajo. Criterio que además permite identificar aquellas áreas que no están invadidas, donde las formaciones nativas están en constante competencia con las formaciones exóticas invasoras.

En el desarrollo de este trabajo, nace la idea de complementar el control de las 3M con otras acciones de restauración que ayuden al proceso de sucesión del hábitat de las especies. Por esto es que se integra un cuarto factor de localización: la conservación *ex situ*, el cual evalúa la disponibilidad de ejemplares en vivero del PNAJF, para plantar en los sitios tratados, en su distribución original.

En relación al problema ambiental de invasiones biológicas en IRC, es que se seleccionó un quinto factor de localización: localización de especies invasoras, el cual se refiere a la distribución del matorral invasor de maqui, mora y murta, basados en la urgente necesidad de realizar control de estas especies, sobre todo en aquellas áreas donde hay registros de poblaciones de especies con problemas de conservación.

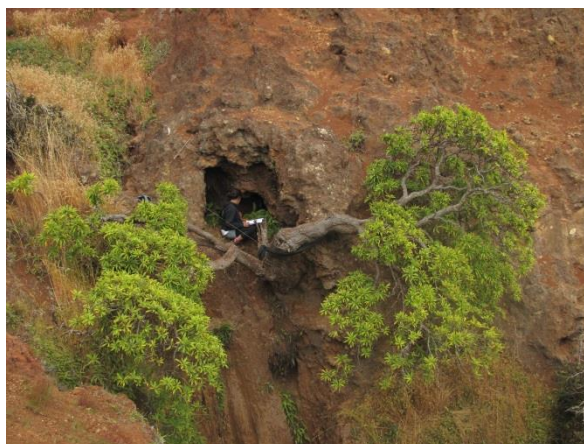
Todos los criterios antes mencionados, han sido categorizados como factores de localización para determinar las áreas prioritarias, ya que su existencia en mayor o menor medida, generará que una alternativa de selección se promueva o no se promueva como prioritaria, aumentando o disminuyendo la capacidad de acogida de un área en particular en IRC.

La decisión y selección de criterios, como ya se ha mencionado, está sustentada en la idea de restauración pasiva y activa del hábitat de las especies endémicas, justamente donde el ecosistema no es capaz de recuperarse por sí solo, por lo tanto es esencial asistir a las áreas alteradas y generar una modificación que permita recuperar en alguna medida las condiciones ambientales originales y aproximarse al ecosistema de referencia.

Figura 24. Especies con menor abundancia de ejemplares y en peligro de extinción



Elaphoglossum squamattun



Dendroseris neriifolia

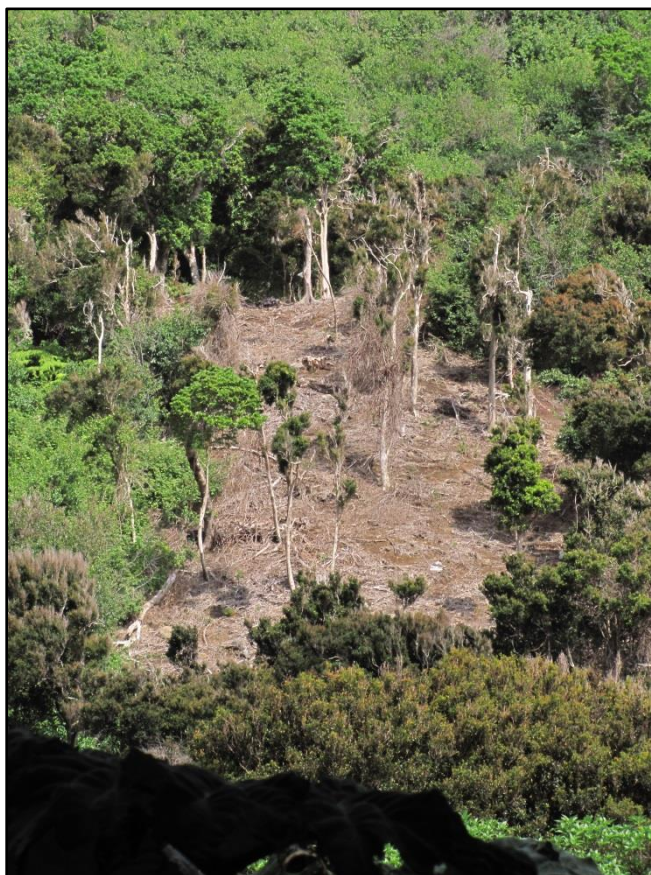
Fuente: Registro fotográfico, año 2011

8.2 Las limitantes: pendiente

Las limitantes son aquellos criterios que disminuyen o descartan la capacidad de localización de una alternativa. En este modelo de decisión la limitante considerada es, la pendiente, ya que el área de estudio se caracteriza por presentar desniveles abruptos y variados rangos de pendiente, lo que en conjunto con el control de plagas invasoras desencadenaría eventualmente procesos erosivos, estimulados por las características climáticas y físicas de IRC.

El riesgo de erosión es sin duda un componente que determina la selección de áreas prioritarias, ya que la presencia de fuertes pendientes, provocaría en el escenario de control de las 3M (suelo desnudo), graves problemas de erosión (Castillo *et al*, 2012), que con el tiempo podrían generar incluso acarcavamiento, derrumbes y procesos de movimientos en masa (procesos ya observados en el área de estudio, ej. Puerto Francés), además de impedir la posterior sucesión natural y regeneración de especies nativas (Figura 25). Para la selección de áreas prioritarias estos sectores de alto riesgo deben ser excluidos e identificados, para que a largo plazo se diseñen medidas tanto biológicas como estructurales, que detengan y disminuyan los procesos de erosión.

Figura 25. Ejemplo de claro tratado en pendiente pronunciada



Fuente: Registro fotográfico Isabel Bastías, año 2012

9. Descripción e integración de factores y limitantes en un modelo de decisión multicriterio.

Una vez definidos los criterios (factores y limitantes) relevantes para la selección de las áreas prioritarias, se realizó la integración de ellos mediante métodos y técnicas de análisis multicriterio, utilizando como herramienta la plataforma SIG. Para esto se desarrollaron las siguientes etapas:

9.1 Diseño del modelo de decisión multicriterio

Como ya se ha señalado, se eligieron cinco factores de localización y una limitante para el análisis espacial. Para integrar estas variables fue necesario diseñar un índice se simple

composición (f_i) que permitiera evaluar de manera conjunta todas las alternativas de los criterios de selección (modelo de decisión multicriterio), el cual necesariamente responde a los requerimientos de la actividad que se quiere desarrollar en las áreas prioritarias.

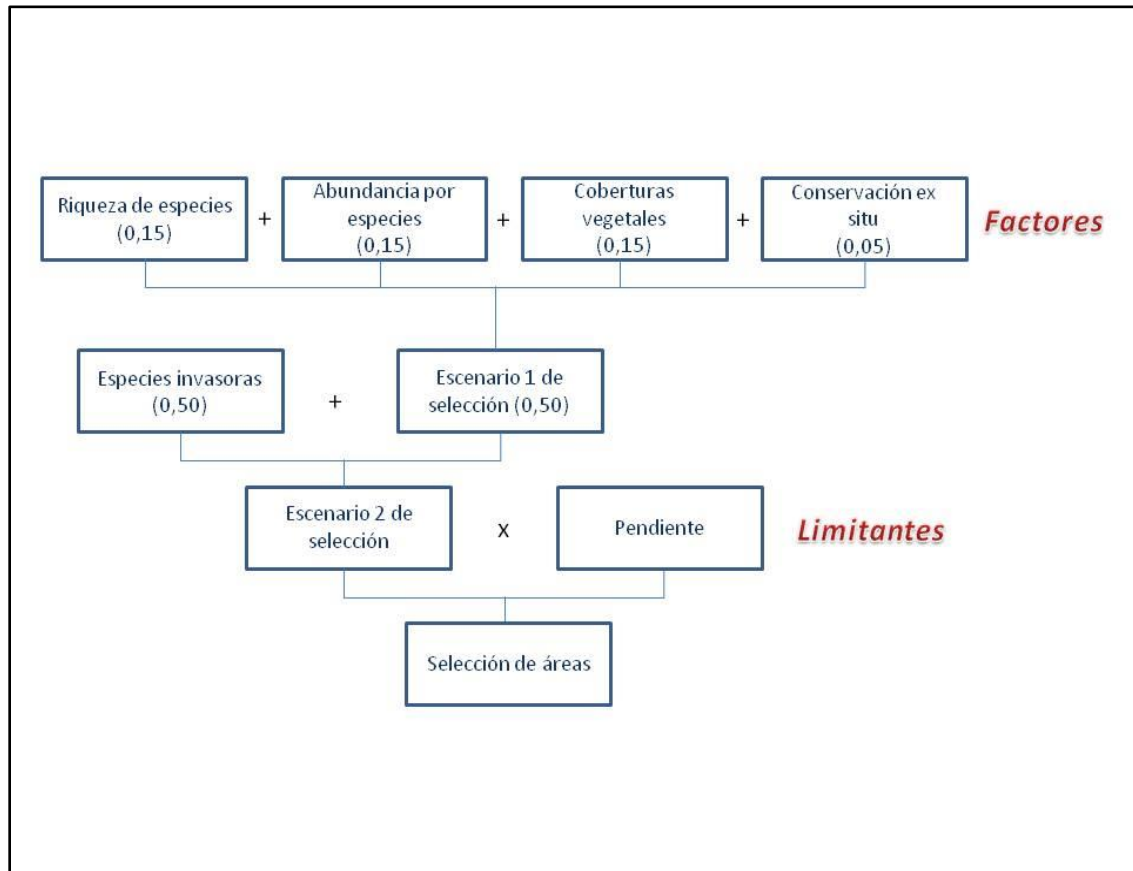
En la Figura 26 se puede observar la estructura de la toma de decisiones. Existen dos niveles de aplicación, el primero asociado a la sumatoria de los factores de localización (riqueza de especies, abundancia por especie, coberturas vegetales y conservación *ex situ*) y el segundo relacionado con la aplicación de las restricciones o limitantes (pendiente). El proceso de integración, como ya se ha explicado en la metodología de este trabajo, se realizó mediante una sumatoria lineal ponderada, donde todos los factores influyentes en la selección de alternativas son sumados a nivel de pixel (valores de 0 a 3) y posteriormente, mediante álgebra de mapas multiplicados por las limitantes (valores 1 y 0).

Los pesos determinados para cada criterio, los cuales son indicados en la Figura 26, fueron establecidos por asignación directa en relación a su jerarquía en el modelo, buscando expresar de modo cuantitativo la importancia del criterio evaluado.

Como ya es sabido, el objetivo de selección de áreas prioritarias radica en identificar los sectores del área de estudio que comprendan las mejores alternativas de localización en relación a sus criterios, es decir donde se concentren especies invasoras, especies endémicas en categoría En Peligro (en especial las que registran menor abundancia) y otras ventajas relacionadas a asistir al sistema para su recuperación (disponibilidad de ejemplares en vivero). En relación a lo anterior se definió como el criterio de más alta jerarquía la distribución de especies invasoras con un valor de 0,50²⁰, ya que sin duda la distribución del matorral de maqui, mora y murta, son el principal problema del área de estudio, lo que consecuentemente dirigirá las labores de restauración en aquellos sectores que concentren una mayor distribución. Ya en el segundo nivel de jerarquía sumando un valor de 0,45, se consideraron los factores asociados a la importancia biológica del área de estudio, como la localización de las especies endémicas prioritarias. Entre ellos se encuentra la riqueza de especies por unidad de análisis, abundancia por especies y la superficie de coberturas vegetales, bosque montano alto y bajo (en relación a aquellas áreas donde el bosque nativo está en constante competencia con las especies invasoras). A todos estos factores se les otorgó un valor de 0,15 por ser los tres igualmente importantes en la selección. En última jerarquía de los factores de localización se encuentra la conservación *ex situ* con un valor de 0,05, ya que este criterio no es influyente en cuanto a su distribución espacial, el cual se consideró por ser una variable que puede ser mejorada para asistir al sistema en su recuperación.

²⁰ Valores calculados en base a: *Peso normalizado: valor asignado / Σ de los valores (0,50 = 50/100)*

Figura 26. Modelo de decisión multicriterio



Fuente: Elaboración propia, año 2012

Una vez definidos los escenarios 1 y 2 de selección, los cuales contienen las mejores alternativas de localización en relación a los factores, se excluyeron aquellas áreas que por su geografía son altamente riesgosas tanto para los restauradores como para el suelo, pudiendo deteriorar, en el caso de realizar control de las 3M, más aún la ecología de IRC. En ningún caso, se pretende decir que estas deben ser excluidas para siempre de un plan de control de plagas vegetales, lo que sí se intenta destacar es que para estas áreas el plan de manejo debe ser preliminarmente estudiado y constituir medidas de control de erosión programadas, que mitiguen las posibles alteraciones al sustrato.

9.2 Estandarización de valores para criterios de localización

Ya diseñado el modelo de decisión multicriterio se requiere normalizar o estandarizar los distintos valores asignados a las alternativas de localización por cada criterio, para así distinguir rangos iguales para todas las variables en análisis. Para esto se definió una

escala continua de 0 a 3, donde 0 representa aquellas áreas menos óptimas (en relación a su localización) y 3 representa el valor más óptimo para priorizar la intervención.

Para el caso de los factores de localización, la riqueza de especies está diferenciada según la cantidad de especies encontradas por unidad de análisis, este número puede variar entre 0 y 11 (equivale al total de especies del listado priorizado), donde a más especies por superficie, mayor es la importancia en la evaluación. La abundancia a su vez, es representada por la gran diferencia de registros entre las especies del listado priorizado, encontrando como ya se mencionó, especies que varían desde 1 a 196 ejemplares *in situ*. Por ende aquellas áreas que albergan las especies que presentan menos individuos son las más relevantes y adquieren el mayor rango. En este punto, cabe destacar que es ampliamente discutido en ecología de conservación si se debe priorizar la recuperación de especies con menos individuos, por lo tanto con menores posibilidades de éxito, o aquellas especies con mayor número de individuos, por lo tanto, con mayores posibilidades de éxito. En este caso se adopta la postura donde deben priorizarse las especies con menos individuos, ya que en el caso del AJF, la no priorización y conservación de estas especies, implicaría muy probablemente, una novena extinción.

Por otro lado, las coberturas vegetales nativas fueron evaluadas a través de porcentajes, por lo que las unidades de análisis que muestran los mayores porcentajes de superficie son las que adquieren la mayor puntuación. En relación a la conservación *ex situ*, como ya se mencionó, esta se refiere a la disponibilidad de ejemplares de las 11 especies prioritarias en vivero, los rangos fueron definidos en base al éxito de reproducción en el PNAJF. Para determinar el valor por unidad de análisis se promediaron los valores asignados por especie que van de 0 a 3, correspondiendo 0 a especies sin éxito de reproducción y 3 a especies con gran éxito de reproducción en vivero.

En cuanto a la distribución del matorral invasor, se determinó el porcentaje de cobertura en relación a la unidad espacial de análisis (microcuenca hidrográfica), en donde todas aquellas áreas que alcanzan un gran porcentaje de cobertura, adquieren una mayor valorización.

Cabe destacar que los rangos determinados en la Tabla siguiente, fueron evaluados caso a caso y no fueron determinados de forma aleatoria. Es por eso que en algunos criterios, los rangos no se ajustan a valores promedio y no se subdividieron en rangos iguales según el total.

Tabla 7. Estandarización de valores para coberturas

criterio	Escala de medida	Rangos	Estandarización	Método de asignación
Riqueza de especies	N° especies por unidad de análisis	4-11	3	Se contabilizó el número de especies por unidad de análisis
		2-3	2	
		1	1	
		0	0	
Abundancia por especie	N° total de ejemplares propuestos por especie	0-29	3	Por unidad de análisis, prevaleció el valor de la especie que registra menos ejemplares observados
		30-100	2	
		101- más	1	
		No hay	0	
Coberturas vegetales	Porcentaje de superficie de las coberturas de interés	50-100%	3	Se calculó el porcentaje de superficie de las coberturas bosque montano alto y bajo
		20,1-49%	2	
		0,1-20%	1	
		0	0	
Conservación <i>ex situ</i>	Éxito de reproducción de especies en vivero	2,1-3	3	Se asignaron valores según éxito de reproducción. Basados en entrevistas realizadas a guardaparques
		1,6-2	2	
		1-1,5	1	
		0	0	
Especies Invasoras	Porcentaje de cobertura de la distribución de especies invasoras	50 -100%	3	Se calculó el porcentaje de cobertura de la distribución de las 3M, por unidad de análisis
		20,1 – 49%	2	
		0,1 – 20%	1	
		0	0	

Fuente: Elaboración propia, año 2012

En el caso de las limitantes, la pendiente fue reclasificada en base a una capa binaria, adquiriendo los valores 1 para la localización permitida y 0 para la aplicación de las

restricciones de localización. Los rangos de pendiente y los indicadores de erosión, fueron adaptados según las clasificaciones de Araya-Vergara & Börgel (1972) y Van Ziuman (1986) (Tabla 8), donde se indican los rangos de pendiente y los posibles procesos erosivos asociados. Según ésta, desde los 10° de inclinación, la pendiente puede provocar erosión intensa y acarreamiento, existiendo un importante peligro de erosión de suelos. Lo anterior determina que, aquellos sectores donde se identifique un valor mayor o igual, deben estar restringidos en relación al riesgo de ocurrencia de procesos de erosión. Por el contrario, las áreas que presenten un rango menor pueden ser consideradas dentro de la planificación prioritaria.

Tabla 8. Rangos de pendiente y procesos de erosión

Grados (°)	Pendiente	Proceso	Rango
0 – 2	Levemente horizontal	Erosión nula o leve, denudación no apreciable.	1
2 – 5	Suave	Erosión débil, difusa (<i>sheet wash</i>), inicio de regueros, solifluxión fría. Movimientos en masa lentos, escurrimiento laminar	1
5 - 10	Moderada	Erosión moderada a fuerte inicio de erosión lineal, inicio de regueras (<i>rill wash</i>).	1
10 – 20	Fuerte	Erosión intensa, erosión lineal, cárcavas incipientes. Pueden ocurrir movimientos en masa de todos los tipos, peligro de erosión de los suelos y deslizamientos.	0
20 – 30	Muy fuerte a moderadamente escarpada	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa, reptación. Procesos denudacionales intensos de todos los tipos.	0
30 – 45	Escarpada	Coluvinamiento; Solifluxión intensa; Inicio de derrubiación. Posibles desprendimientos de rocas, procesos denudacionales intensos.	0
> 45	Muy escarpada a acantilado	Desprendimientos y derrumbes; corredores de derrubios frecuentes. Dominio de superficies rocosas, desplomes y rodadura de rocas.	0

Fuente: Adaptado desde Araya Vergara & Börgel, (1972) y Van Ziuman (1986).

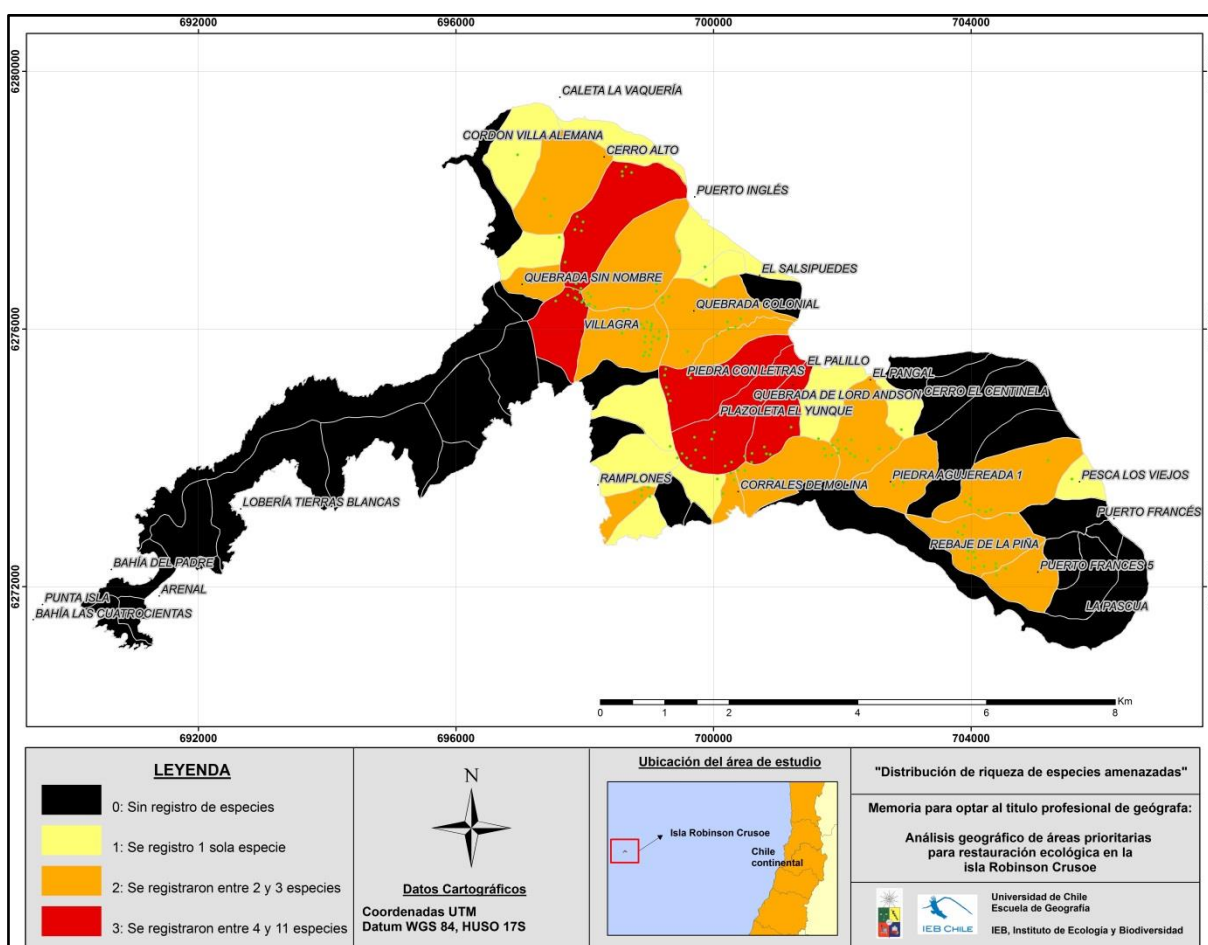
9.3 Descripción e integración de criterios (factores y limitantes)

Una vez estandarizados los criterios, se evaluó de manera separada cada factor y limitante de localización, para luego ser integrados e identificar las áreas prioritarias.

i. Riqueza de especies amenazadas

La evaluación de este criterio de selección, indica que la mayor riqueza de especies amenazadas del listado priorizado se distribuye en las microcuencas de Puerto Inglés, Villagra, la microcuenca del poblado San Juan Bautista (Quebrada Piedra con Letras) y la quebrada de Lord Andson (frente al sector del Palillo). Registrando la presencia de cinco especies, entre ellas *Cuminia eriantha*, *Azara serrata* var. *fernandeziana*, *Elaphoglossum squamatum*, *Dendroseris pinnata*, *Colletia spartioides* y *Dendroseris berteriana*, adquiriendo los valores más altos de la categorización (3). Seguido a esto, las microcuencas de Puerto Francés 5, Corrales de Molina, El Pangal y Vaquería, presentan una riqueza de tres especies por unidad de análisis, adquiriendo un valor medio en la categorización (2) (ver Figura 27).

Figura 27. Distribución de riqueza de especies amenazadas



Fuente: Elaboración propia, año 2013

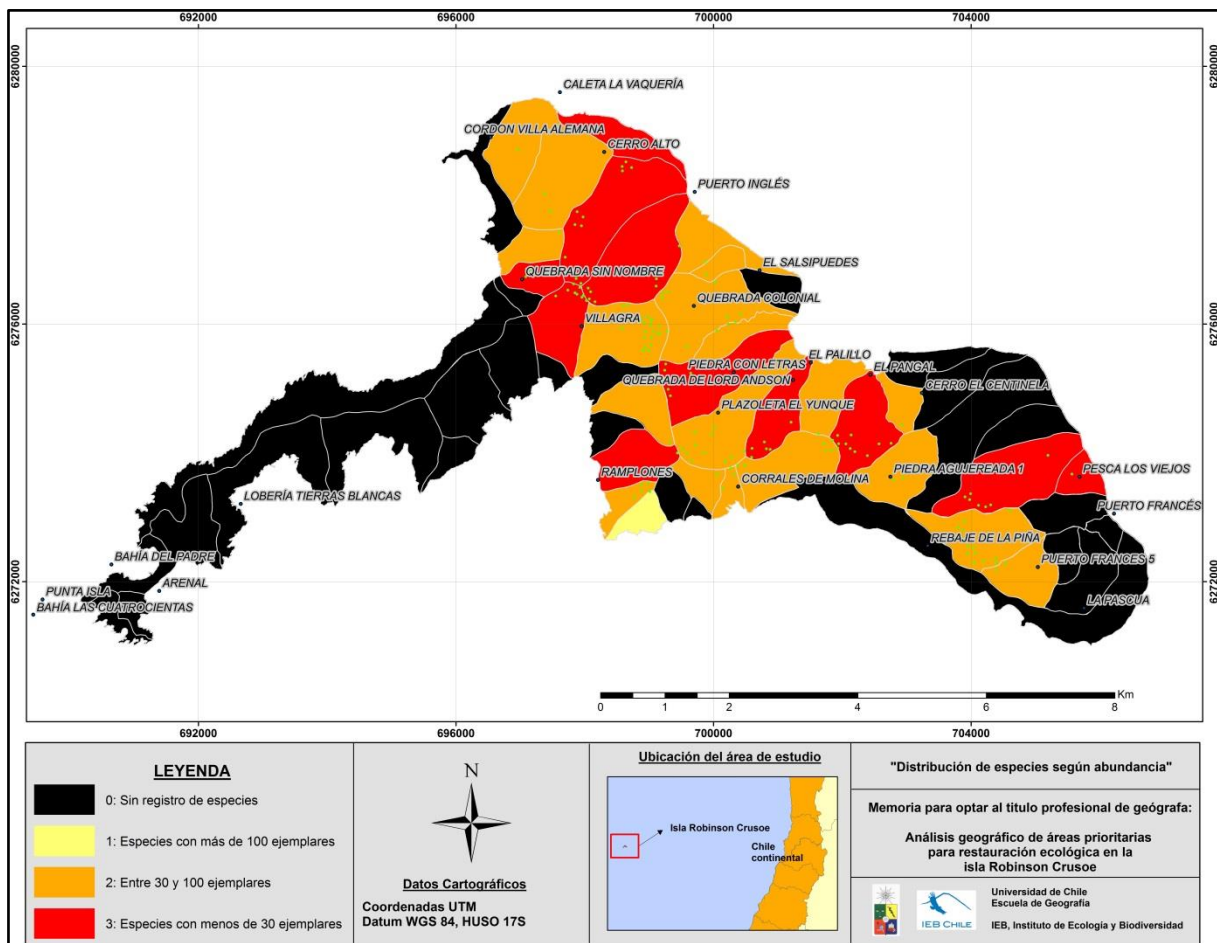
Se identificó además, que las microcuencas que no presentaron ningún registro de especies en análisis, se relacionan con las áreas que presentan mayores problemas de

erosión y degradación (observación personal en terreno), sobre todo en los extremos oeste y este de Robinson Crusoe.

ii. Abundancia por especie

En general las especies que registran una menor abundancia de ejemplares en vida silvestre, se distribuyen sin un patrón claro de localización. En la Figura 28 adquieren valores muy altos (rango 3) las microcuencas de Puerto Inglés, en especial por la presencia de *Greigia berteroi* (29 ejemplares) y *Colletia spartioides* (26 ejemplares). Además, destaca la microcuenca de Pesca Los Viejos, por la presencia de *Dendroseris neriifolia* que registra tan sólo dos ejemplares y Quebrada de Lord Andson, donde se localiza *Elaphoglossum squamatum*, que registra tan sólo un ejemplar conocido. El color naranja también representa valores altos, encontrándose especies que registran menos de 100 ejemplares (ej: *Azara serrata* var. *fernandeziana*). Se repiten los valores más bajos, para los sectores oeste y este de la isla, al no presentar registros de especies amenazadas.

Figura 28. Distribución según abundancia

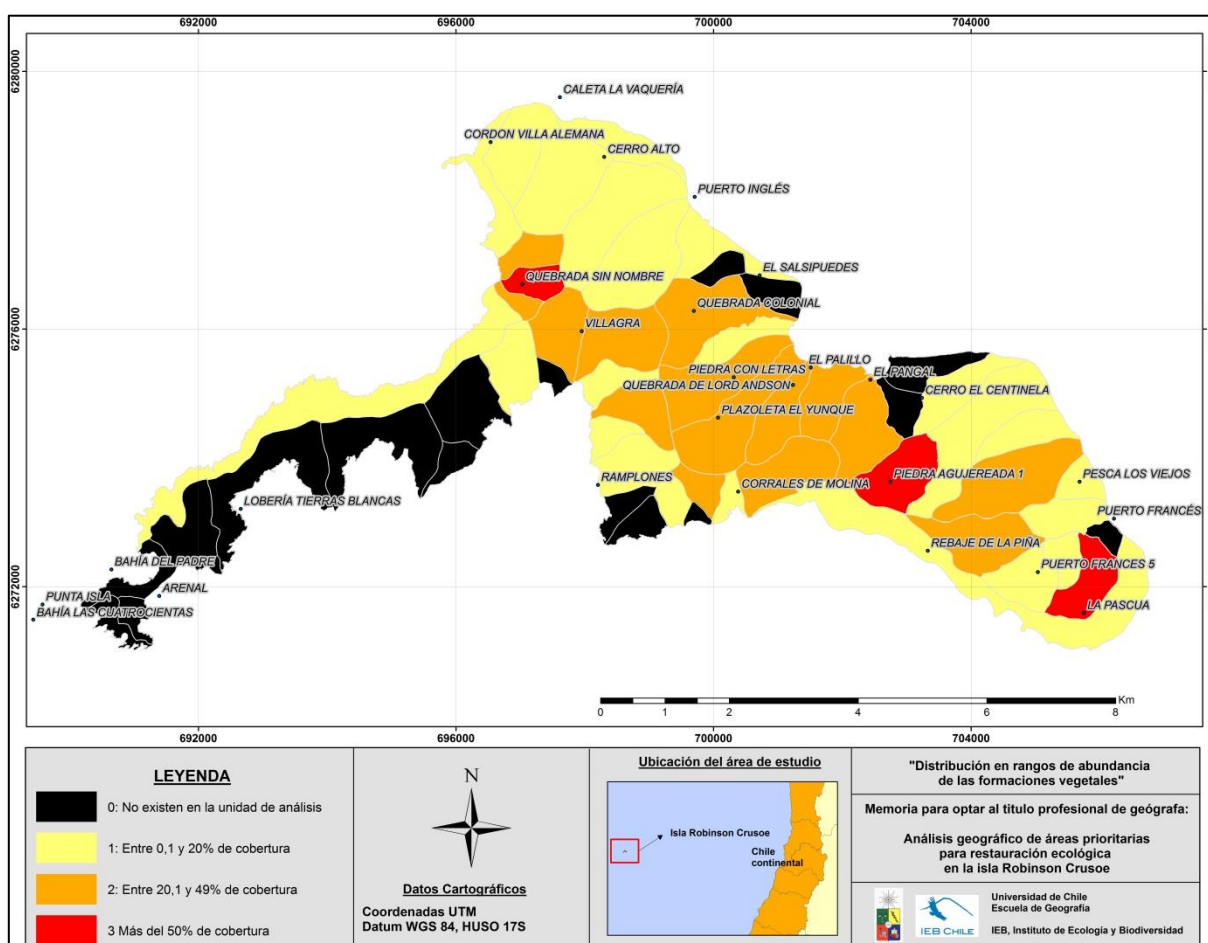


Fuente: Elaboración propia, año 2013

iii. Coberturas vegetales

En este criterio de selección se analizaron las coberturas vegetales nativas del área de estudio (bosque montano alto y bajo), identificando su porcentaje de superficie por unidad de análisis. La distribución en general adquiere un patrón de localización central, que recorre desde el noroeste hasta el sureste de IRC. Las microcuencas evaluadas que presentan la mayor cobertura de vegetación nativa es la quebrada Sin Nombre continua a la quebrada de Juanango, un sector de la microcuenca quebrada de Puerto Francés y la microcuenca del Piedra Agujereada 1, seguidos por Villagra, La Piña y el sector centro del área de estudio. Consecuentemente a los criterios anteriores, los sectores del extremo oeste y este de IRC, constituyen áreas de muy baja o nula cobertura nativa, lo cual está definido por las alteraciones históricas al ecosistema de estas cuencas (ver Figura 29).

Figura 29. Distribución según superficie de coberturas vegetales nativas



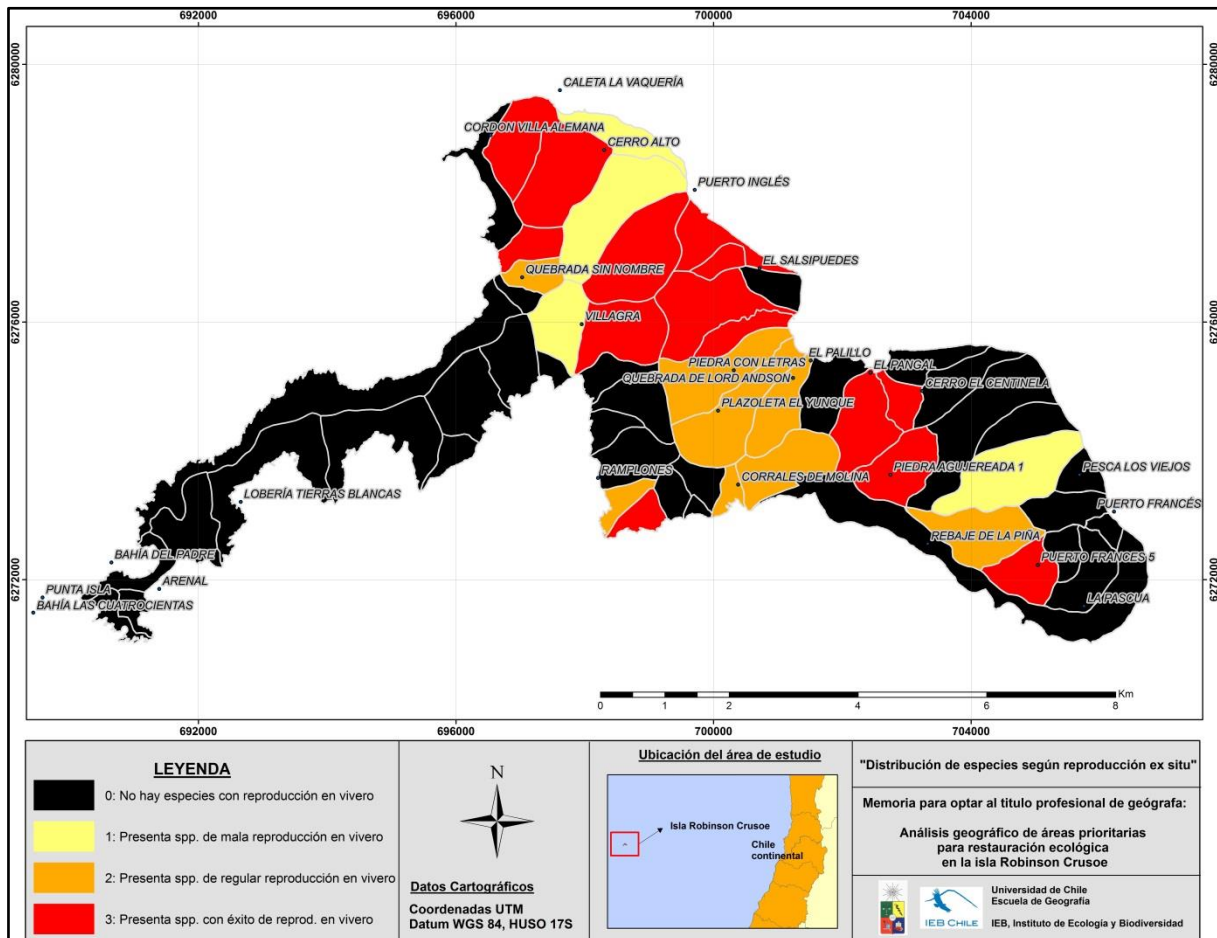
Fuente: Elaboración propia, año 2013

iv. Conservación *ex situ*

La evaluación de la conservación *ex situ*, se basa en la disponibilidad de ejemplares en el vivero del PNAJF para su posible introducción a las áreas a restaurar. Las especies que adquieren mayor puntaje en relación a esta variable son *Cuminia eriantha*, *Dendroseris neriifolia*, *Azara serrata var. fernandeziana* y *Chenopodium crusoeanum*, especies que son reproducidas exitosamente en el Parque Nacional, incluso constituyendo algunas poblaciones de ensayos de plantación (Sector de Los Chifladores en microcuenca Puerto Francés 5). Estas especies tienen su distribución en las microcuencas de Vaquería, Puerto Inglés, Piedra agujereada, Los Ramplones y Puerto Francés (ver Figura 30).

En el caso de las especies *Yunquea tenzii*, *Centaurodendron dracaenoides*, *Greigia berteroi* y *Dendroseris berteriana*, no tienen ejemplares disponibles en vivero, de hecho su éxito de reproducción está condicionado por disponibilidad de semillas, esporas y porque existe muy poca información sobre su fenología y comportamiento biológico.

Figura 30. Distribución de especies según su éxito de reproducción *ex situ*



Fuente: Elaboración propia, año 2013

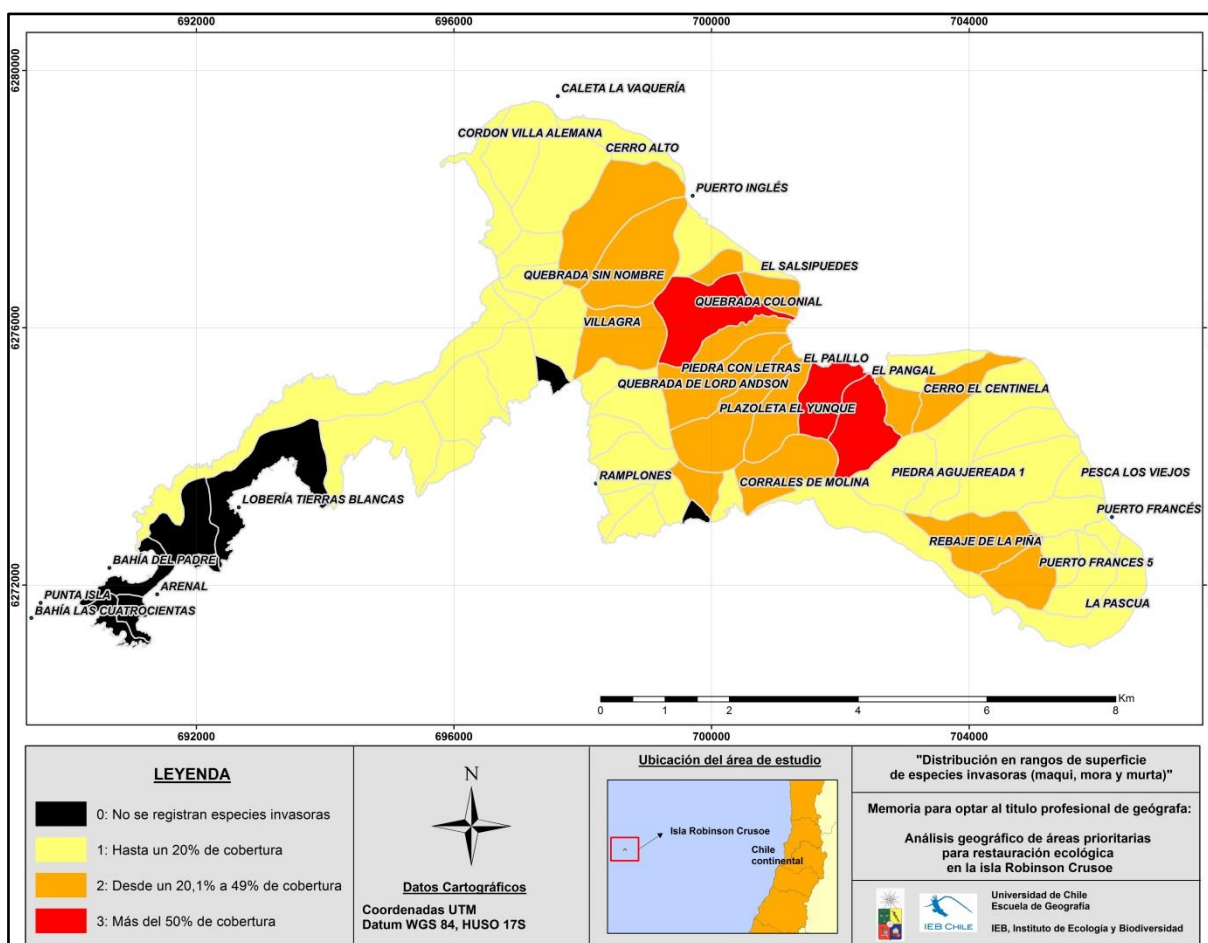
v. Distribución de especies invasoras

Es evidente el grave problema de plagas vegetales en el área de estudio, en general lo que se conoce es que gran parte de la superficie insular está invadida por el matorral de maqui, mora y murta. El objetivo de este criterio de selección es identificar las microcuencas que presentan una cobertura de plagas invasoras mayor al 50%, para así priorizar la intervención.

Se identifica para IRC un área de gran cobertura del matorral invasor (20 a más del 50% de cobertura) que abarca desde Puerto Inglés hasta Puerto Francés, destacando, las microcuencas de Quebrada Colonial, el Pangal y el Palillo, como las áreas que albergan más de un 50% de cobertura de especies invasoras en relación a la superficie total de la cuenca (ver Figura 31).

Cabe destacar que aquellos sectores que no presentan cobertura de especies invasoras, están directamente relacionados con áreas de gran degradación física del suelo.

Figura 31. Distribución de especies invasoras según rangos de superficie

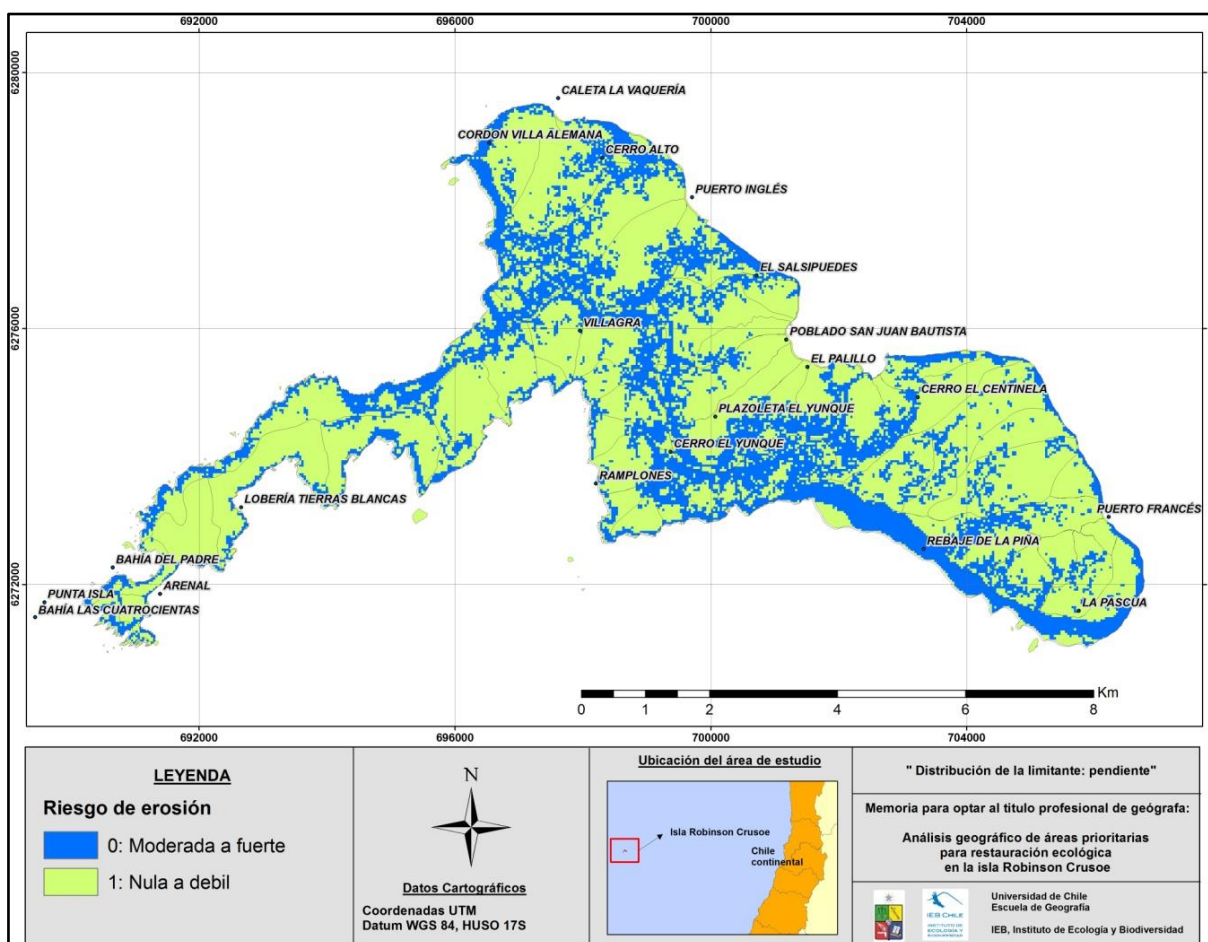


Fuente: Elaboración propia, año 2013

vi. Pendiente

La distribución de la limitante de localización, se construye a partir de la identificación de los sectores que se encuentran en superficies mayores a 10° de inclinación. Estas superficies restrictivas, se distribuyen sin un patrón de localización tan claro, pero si relacionado con el cordón altitudinal que cruza IRC en sentido oeste-este, incluyendo los acantilados costeros que caen de manera abrupta al mar en diferentes sectores. Este criterio permite definir las áreas que serían más óptimas para aplicar planes de restauración, como aquellas que presentan una pendiente bajo los 10° de inclinación, estos sectores son Vaquería, Puerto Inglés, Quebrada del Poblado San Juan Bautista y Puerto Francés. Estas áreas, además coinciden con el desarrollo de las microcuencas de mayor superficie del área de estudio.

Figura 32. Distribución de rangos de pendiente y su relación con el riesgo de erosión



Fuente: Elaboración propia, año 2013

vii. Análisis integrado de los factores y limitantes de localización para la identificación de las áreas prioritarias.

Una de las mayores ventajas del análisis multicriterio es la integración de diferentes variables de localización para el desarrollo de una actividad. Permitiendo ponderar los criterios y valorizar las alternativas que lo constituyen. Esto realza la ventaja asociada a la compensación de importancia entre alternativas, sobre todo en aquellos casos cuando un área es valorada con poco puntaje en un criterio y al sumarse con otra área de alto puntaje en un criterio diferente, equilibra las ventajas de localización en esa alternativa.

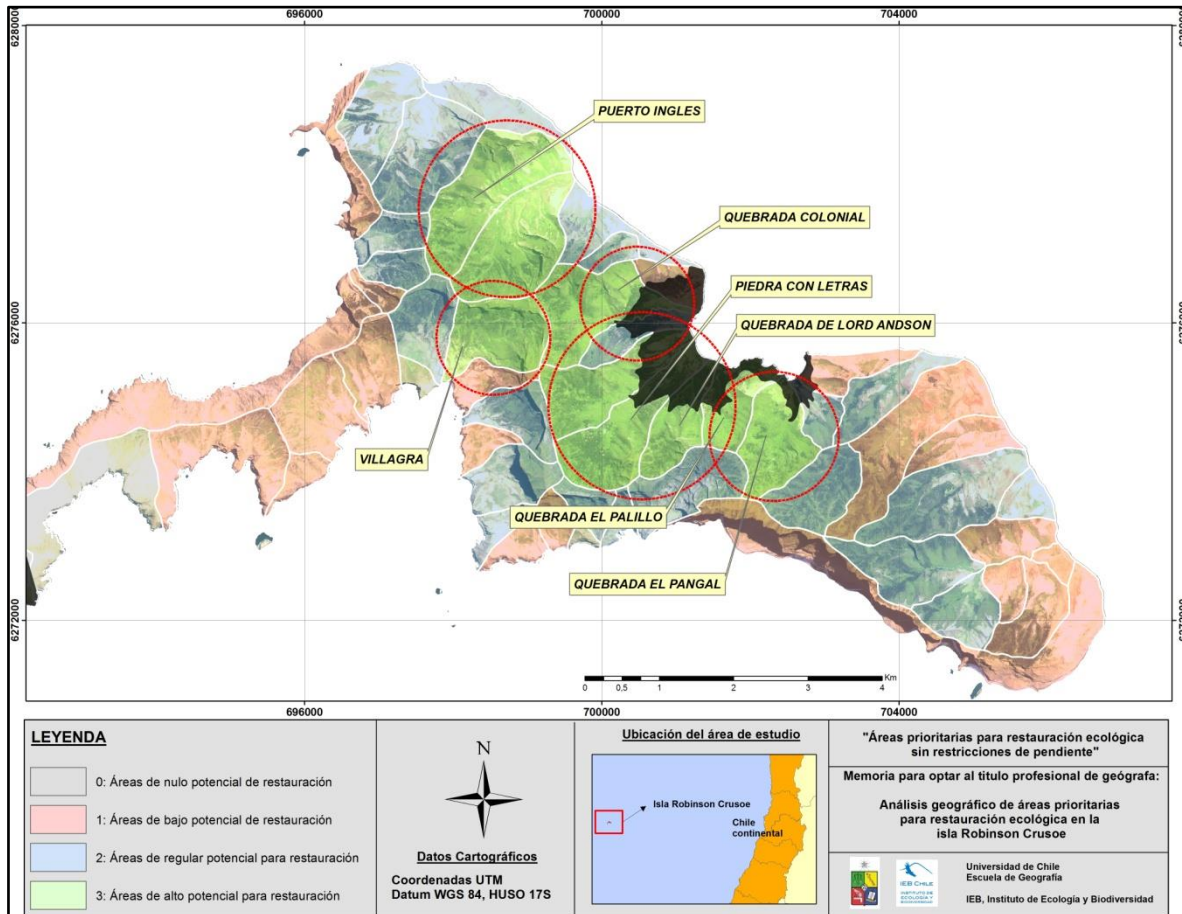
Al integrar los factores y la limitante en el modelo de decisión diseñado para este trabajo, se identificaron las microcuencas de IRC, donde la intervención es de carácter urgente. Se incluyen entre sus características la riqueza y abundancia de especies endémicas y, la presencia de especies invasoras. Lo que a la vez, debe estar asociado a la capacidad de recuperación del área a seleccionar, lo que se cree debería ser mayor en sectores donde exista bosque nativo y donde sea posible brindar apoyo a la sucesión natural de las especies.

Las áreas identificadas como prioritarias son todas aquellas que representan un alto potencial por sus características y que cumplen con todos los requisitos antes expuestos, integrando una alta riqueza de especies amenazadas y un alto valor de cobertura de especies invasoras que compiten constantemente con la cobertura de vegetación nativa (bosque montano bajo y alto).

Las áreas prioritarias (alto potencial) donde es necesario realizar a corto plazo los planes de restauración (basados en el control mecánico de especies invasoras), son las incluidas en las microcuencas de Puerto Inglés, Villagra y Quebrada Colonial en el sector de Salsipuedes, además de las microcuencas Piedra con Letras, Quebrada de Lord Andson y Quebrada del Palillo en el sector del pueblo de San Juan Bautista, por último la cuenca el Pangal a un costado del cerro Centinela (ver Figura 33). Estas representan un total de 1.155,1 hectáreas, las cuales incluyen 487,6 hectáreas de matorral de Maqui/Mora y 42,7 hectáreas de matorral de Murta (ver Tabla 9), que debería ser controlado o erradicado.

Es importante destacar que la microcuenca Pesca Los Viejos, donde se localiza *D. neriifolia* no resulto ser una de las cuencas más óptimas para ser restauradas (a pesar de su abundancia), esto debido a las características bióticas del sector, dado que es un área altamente erosionada y con pocas posibilidades de recuperarse.

Figura 33. Áreas de alto potencial para ser restauradas, sin restricciones por riesgo de erosión y pendiente



Fuente: Elaboración propia, año 2013

Tabla 9. Superficie de áreas prioritarias sin aplicación de restricciones

Microcuencas	Superficie s/restricción (ha)		Cobertura (ha)		Especies endémicas prioritarias presentes	Accesos
	Total	Invasión	M y M	Murta		
Puerto Ingles 1	163,4	66,4	63,9	2,5	<i>C.eriantha/C.spatioides/A.serrata</i>	Sí
Puerto Ingles 2	178,3	70,9	64,6	6,3	<i>C.spatioides/C.eriantha/D.berteroana/D.pinnata</i>	Sí
Villagra	119,6	40,3	34,2	6,1	<i>C.eriantha/D.pinnatta/A.serrata</i>	Sí
Quebrada Colonial	148,5	86,6	76,4	10,2	<i>C.eriantha/D.pinnatta/A.serrata</i>	Sí
Piedra con letras 1	144,1	60,2	57,8	2,4	<i>D.berteroana/C.eriantha/A.serrata/D.pinnatta/C.dracaenoides</i>	Sí

Microcuencas	Superficie s/restricción (ha)		Cobertura (ha)		Especies endémicas prioritarias presentes	Accesos
Piedra con letras 2	132,5	64	58,5	5,5	<i>D.pinnatta/C.spartioides/C.eriantha/C.dracaenoides/A.serrata</i>	-
Quebrada de Lord Andson	79,4	39,5	36	3,5	<i>D.pinnatta/C.eriantha/A.serrata/E.squamatum/C.spartioides</i>	Sí
Pangal	110,6	60	56,1	3,9	<i>C.eriantha/G.berteroi/D.pinnatta/</i>	Sí
Quebrada del Palillo	78,7	42,4	40,1	2,3	<i>D.berteroana</i>	SI
Total	1155,1	530,3	487,6	42,7		

Fuente: Elaboración propia, año 2013

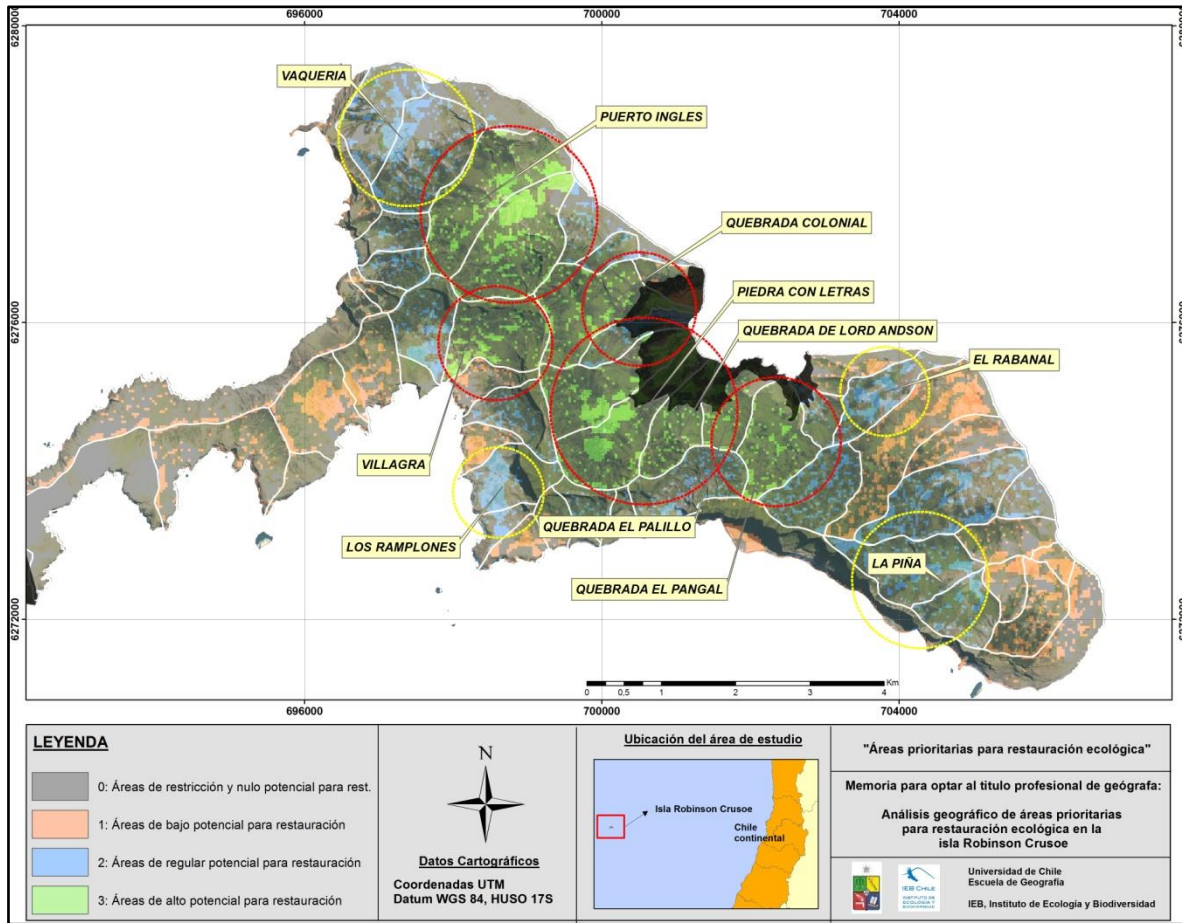
Una vez determinadas estas superficies, se les aplicó el criterio de exclusión de acuerdo con su naturaleza física, específicamente debido a la restricción por rangos de pendiente y por el riesgo de ocurrencia de procesos de erosión y pérdida de suelo, en el caso que se desarrollen actividades de control de plagas, mediante la acción de desmalezar el matorral invasor. Estos sectores excluidos, determinaron una selección final de áreas prioritarias para restaurar, que integran territorios que tienen una pendiente menor a 10° (ver Figura 34), las cuales comprenden un total efectivo de restauración de 259,8 ha, de las cuales 90,4 ha comprenden superficie con especies invasoras, 82,9 ha corresponden a matorral de Maqui/Mora y 7,45 ha, corresponden a matorral de Murta (Tabla 10).

Con el cálculo de estas cifras, es posible entonces enfatizar y dar como resultado principal de este trabajo, que la superficie efectiva de áreas prioritarias a restaurar, comprende un total de 90,4 hectáreas, las cuales debieran ser tratadas y asistidas de manera urgente, para realizar control mecánico de plagas vegetales de maqui, mora y murta.

Importante es destacar que los sectores seleccionados se encuentran en las nueve microcuencas antes mencionadas (en siete sectores), la diferencia principal, es que se excluyen las porciones del territorio que comprenden superficies con un rango de pendiente mayor al deseado, disminuyendo así la superficie efectiva a ser restaurada, sin riesgos de ocurrir procesos de pérdida de sustrato y por ende, deteriorar aún más el hábitat de especies en peligro (Tabla 10).

Como dato adicional, se observa en la Figura 34 que las microcuencas de Vaquería, La Piña, los Ramplones y El Rabanal, comprenden áreas que se categorizaron como de regular potencial para restauración, a pesar de esto, se propone incluirlas como áreas de segunda priorización para ser restauradas ya que cumplen parte de las condiciones ideales para su selección, sobre todo, por su extensión, acceso y bajos rangos de pendiente que incluyen estos territorios.

Figura 34. Áreas prioritarias con evaluación de restricciones para su selección



Fuente: Elaboración propia, año 2013

Tabla 10. Superficie de áreas prioritarias considerando áreas restringidas por pendiente

Microcuencas	Superficie efectiva (ha)		Cobertura (ha)		Especies endémicas prioritarias presentes	Accesos
	Total	Invasión	M y M	Murta		
Puerto Ingles 1	46,6	10,2	9,3	0,9	<i>C.eriantha/C.spartioides/A.serrata</i>	Sí
Puerto Ingles 2	30,9	9,4	8,7	0,7	<i>C.spartioides/C.eriantha/D.berteroana/D.pinnata</i>	Sí
Villagra	21,2	7,3	6,4	0,9	<i>C.eriantha/D.pinnatta/A.serrata</i>	Sí
Quebrada Colonial	26,5	11,4	9,6	1,8	<i>C.eriantha/D.pinnatta/A.serrata</i>	Sí
Piedra con letras 1	52,2	18,9	18,8	0,05	<i>D.berteroana/C.eriantha/A.serrata/D.pinnatta/C.dracaenoides</i>	Sí

Microcuencas	Superficie efectiva (ha)		Cobertura (ha)		Especies endémicas prioritarias presentes	Accesos
Piedra con letras 2	38,8	15,9	15,3	0,6	<i>D.pinnatta/C.spartioides/C.eriantha/C.dracaenoides/A.serrata</i>	-
Quebrada de Lord Andson	17,5	6,3	5,4	0,9	<i>D.pinnatta/C.eriantha/A.serrata/E.squamatum/C.spartioides</i>	Sí
Pangal	15,5	6,2	5,6	0,6	<i>C.eriantha/G.berteroi/D.pinnatta/</i>	Sí
Quebrada del Palillo	10,6	4,8	3,8	1	<i>D.berteroana</i>	Sí
Total	259,8	90,4	82,9	7,45		

Fuente: Elaboración propia, año 2013

CAPÍTULO 5:
DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10. Discusión

Los objetivos considerados en este estudio tratan del cómo abordar la selección de áreas prioritarias para restauración en IRC. La metodología empleada concuerda con lo planteado en Orsi y Geneletti (2010) y Gómez y Barredo (2005), en relación a priorización de sitios. La estructura de este estudio fue diseñada en base al objetivo, al ecosistema de referencia y a la actividad de restauración proyectada, la cual se basa en la exitosa experiencia de siete años controlando mecánicamente maqui y mora. Esta actividad permitió reestablecer regeneración de las especies nativas en los sitios tratados (Smith-Ramirez *et al.*, 2013). Se plantea en esta memoria comenzar el control de especies de plantas invasoras en aquellos sectores donde se encuentren las especies en Estado Crítico de Conservación, lo cual es consecuente con lo descrito en Smith-Ramirez y Arellano (2013).

Respecto a los criterios evaluados para la selección de las mejores alternativas de localización de sitios prioritarios, los resultados muestran relativamente que la mayor riqueza de especies coincide con las áreas que presentan especies con menor abundancia o número de ejemplares. Lo anterior coincide con lo planteado por Vargas *et al.* (2011), donde se determinó que la mayor proporción de especies endémicas se encuentran justamente en las asociaciones vegetales con mayores problemas de conservación.

El análisis espacial integrado, muestra que el área centro-este de la IRC concentra la mayor distribución del bosque nativo, las especies endémicas prioritarias y además la distribución de especies invasoras. Esta distribución se relaciona con los fragmentos de bosque nativo remanente, los cuales se proponen como prioridad de control de especies invasoras en Smith-Ramirez y Arellano (2013).

Desde el punto de vista del paisaje, se observa una matriz boscosa donde se diferencian los fragmentos de bosque nativo, inmersos entre las especies invasoras, entre extensiones de suelo desnudo y praderas en el límite costero, con evidentes procesos de erosión activos (obs. personal). Las microcuencas que presentaron mayor cobertura de especies introducidas (entre 20% y 50%), se extienden entre la microcuenca Quebrada de Puerto Inglés y el sector del cerro Centinela. Avance que es determinado por la dinámica de colonización de las especies maqui y mora, la cual ocurre en dos procesos independientes (Arellano, 2012; Díaz, 2013), dentro de los bosques originales: i) la colonización en los claros de bosque; y ii) el “retroceso del borde del bosque original” (Smith-Ramírez *et al.*, 2013).

Se encontró en la evaluación de limitantes de localización, una relación proporcional entre la distribución de murta y rangos altos de pendientes, ya que murta suele localizarse en filos, en partes altas y en sectores de gran exposición de viento, lo cual es consecuente con las clasificaciones vegetacionales realizadas por Díaz (2012) y por Greimler *et al.* (2002). Lo anterior implicó que estas áreas, generalmente, estén excluidas de las áreas prioritarias seleccionadas. Lo cual permite predecir que las áreas prioritarias albergarían

en mayor medida cobertura de maqui y mora, lo que se complementa con el hecho de que aún no se sabe el método más efectivo para controlar murta (Smith-Ramírez *et al.*, 2013).

Las áreas prioritarias seleccionadas albergan las dos dinámicas de invasión antes mencionadas, lo cual encaja con la idea que los planes de control no se lleven a cabo tan sólo en los claros de bosque. Paralelamente debieran desarrollarse en las áreas donde compiten con las especies en estado crítico de conservación, sectores donde debería generarse un área de amortiguación, lo cual es propuesto por Smith-Ramírez y Arellano (2013). En especial, se ha observado que invasoras -sobre todo maqui- ya han entrado al interior del bosque (observación personal en terreno, Cerro El Camote y La Piña).

Según Smith-Ramírez y Arellano (2013), las áreas prioritarias seleccionadas debieran controlarse desde las áreas menos invadidas hacia la matriz invasora, lo cual se combina con la idea antes mencionada, priorizando los sectores al interior de los fragmentos de bosque nativo.

En base al objetivo principal de este estudio, se pudieron identificar tres microcuencas que presentan una condición especial y de vital importancia, por un lado se encuentran, Pesca Los Viejos y el área limítrofe entre las microcuencas Quebrada de Lord Andson y Corrales de Molina. En estos sectores se encuentran las especies *Dendroseris neriiifolia* y *Elaphoglossum squamatum*, especies que registran tan sólo dos y un ejemplar respectivamente²¹, áreas donde debiera planificarse las posibilidades de recuperación en el más corto plazo, para evitar una novena extinción. Ya que esto, es el principal objetivo planteado en el Plan Nacional de Conservación de Especies Endémicas Prioritarias (2010).

El sector de cerro El Yunque es excluido de la selección de áreas prioritarias por su alta pendiente, a pesar de esto, es importante considerar que éste no ha sido explorado en 13 años (com. personal guardaparques). Esto determina que debe integrarse como área prioritaria, a pesar de la pendiente, ya que debe evaluarse el estado de la invasión y la posibilidad de aplicar planes de restauración en la población de *Yunquea tenzii* (especie que registra tan sólo 23 ejemplares en su última expedición en el 2000), lo cual es pertinente y acorde con lo planteado por Smith-Ramírez y Arellano (2013).

En relación al método de selección de áreas prioritarias utilizado en este estudio, resulta congruente con los propuesto por Cowling *et al.* (2003), ya que los resultados se basan en un modelo sistemático (matemático), integrado con la opinión de expertos del área evaluada (estudiantes, guardaparques y científicos). De hecho, los resultados aquí expuestos, concuerdan con las áreas prioritarias descritas por guardaparques del Parque Nacional, por lo tanto no son excluyentes del conocimiento generado y entregado por los guardaparques y concedores locales de la unidad silvestre protegida.

²¹ Según lo descrito en el Plan Nacional de Conservación de Especies Endémicas Prioritarias del Parque Nacional Archipiélago Juan Fernández.

Tal como describe Pressey y Cowling (2001) en este estudio la integración de un modelo sistemático y el conocimiento de expertos da como resultado la selección de áreas prioritarias donde pueden aplicarse medidas de restauración explícitas y prácticas. Incluyendo tanto el conocimiento técnico como el conocimiento que entrega la experiencia de los trabajadores del Parque Nacional.

Una de las ideas descritas en el trabajo de Cowling *et al.* (2003), que compara las áreas prioritarias identificadas por guardaparques y un *software* de selección, indica que el conocimiento de los expertos o conocedores del área de estudio es fundamental para abordar los problemas de conservación, como también es fundamental desde el punto de vista de la planificación espacial, resumir e integrar sistemáticamente este conocimiento a través de modelos de selección.

Por otro lado, el modelo metodológico propuesto para este estudio (que integra tanto el conocimiento de guardaparques, conocimiento científico y un modelo matemático que integra las variables), desvincula las falencias expuestas en Cowling *et al.* (2003) para planificación ecológica en métodos independientes. Ya que este estudio, al resultar de una integración, suprime las desventajas expuestas (asociadas a sesgos practicados por los expertos y a la falta de conocimiento de los gestores que aplican modelos sistemáticos de decisión sin conocimiento exhaustivo del área evaluada).

Como un último punto, es importante destacar que el modelo diseñado en este estudio, es de carácter adaptativo, lo cual es una ventaja frente al nuevo conocimiento y a las nuevas investigaciones que pudiesen realizarse en IRC, las que pueden integrarse al modelo de decisión multicriterio y complementar los resultados aquí expuestos.

11. Conclusiones

Los análisis realizados determinaron que las áreas prioritarias a restaurar son principalmente aquellas que cumplen con los requisitos que optimizan el control de plantas invasoras, especialmente maqui y mora, en los sectores de bajas pendientes. Estas áreas concentran a la vez, el bosque nativo y las especies endémicas con problemas de conservación. Estas son, en orden de importancia (según su riqueza de especies y la concentración de especies en peligro de extinción): las microcuencas de Puerto Inglés, Villagra, Piedra con Letras, quebrada de Lord Andson, Pangal, Quebrada Colonial y Quebrada El Palillo. Además de manera adicional, se integraron en relación a su mayor superficie y favorables condiciones de acceso las microcuencas de Vaquería, La Piña, El Rabanal y Los Ramplones. A partir de estos resultados es posible priorizar los recursos limitados para restauración ecológica y expandir el rango de acción en el control de invasión.

A continuación se desarrollan las principales conclusiones, relacionadas con los temas abordados en este estudio:

1. Las microcuencas que presentan mayor riqueza de especies son Puerto Inglés, Villagra, quebrada Piedra con Letras y quebrada de Lord Andson, representadas por la presencia de cinco especies por cuenca evaluada.
2. Las microcuencas que presentan especies con mayor riesgo de extinción, relacionadas al bajo número de ejemplares registrados son: Puerto Inglés, Pesca Los Viejos y Quebrada de Lord Andson, lo cual está determinado por la presencia en estos sectores de las especies *Greigia berteroi*, *Colletia spartioides*, *Dendroseris neriifolia* y *Elaphoglossum squamattum*, todas ellas con menos de 30 ejemplares registrados.
3. Las microcuencas de IRC que presentan mayor cobertura de formaciones nativas (bosque nativo de altura y bosque nativo bajo) son Quebrada Sin Nombre (colindante a la quebrada de Juanango), Quebrada de Puerto Francés, la microcuenca de Piedra Agujereada, Villagra y La Piña, áreas donde, generalmente, se observa una interacción limítrofe entre especies nativas y especies invasoras, esencialmente el ensamble de maqui y mora
4. En tanto, las microcuencas que concentran la mayor distribución de especies invasoras (maqui, mora y murta) son la quebrada Colonial, El Pangal y El Palillo.
5. Las cuencas que se identificaron como prioritarias son: Puerto Inglés, Villagra y Quebrada Colonial, además de las cuencas Piedra con Letras y Quebrada de Lord Andson, esta última en el sector del pueblo de San Juan Bautista. Por último, se priorizaron las microcuencas el Pangal y Quebrada El Palillo a un costado del cerro Centinela. Siendo excluidos los sectores que alcanzaron una pendiente de gran inclinación (por el riesgo de erosión y de los restauradores).
6. Se identifican tres sectores críticos donde deberían aplicarse planes urgentes de intervención y acción. Estos son donde se localizan las especies *Dendroseris neriifolia* y *Elaphoglossum squamattum*, con dos y un ejemplar conocido. Además del sector del Yunque, donde se desconoce la población actual de *Yunquea Tenzii* y el avance de la invasión.
7. Las áreas prioritarias identificadas coinciden con los sectores priorizados por guardaparques del Parque Nacional Archipiélago Juan Fernández, lo que genera una coherencia entre los resultados obtenidos y la planificación actual.

Los resultados de este estudio permiten invertir los recursos de manera organizada, basados en una planificación ecológica del territorio insular. La finalidad recae en controlar y detener el avance de especies invasoras en las áreas limítrofes con el bosque nativo. En particular fue prioridad en este estudio, considerar el riesgo de extinción de las especies endémicas, las cuales registran bajísimos números poblacionales, cuyos hábitats deben ser tratados de forma urgente para evitar una novena extinción reportada. Este trabajo permite ordenar el territorio insular en base a prioridades, lo cual es consecuente con el alto costo, esfuerzo y riesgo que adquiere un plan de control de plagas en islas.

12. Recomendaciones

Durante el desarrollo de éste proyecto se generaron algunas ideas que surgen como recomendaciones sobre los trabajos que se desarrollan en el archipiélago de Juan Fernández. Entre ellas, se pudo entrever la necesidad de investigar medidas de control de erosión, debido a la degradación física que puede resultar del despeje y remoción de especies invasoras. Esto responde a la idea de realizar un manejo integral del área estudiada, donde paralelamente a las medidas de restauración aquí buscadas, puedan aplicarse nuevas medidas que asistan al sistema y promuevan su recuperación. También se vislumbra la necesidad de unir conocimientos científicos y saberes locales, con la finalidad de organizar los proyectos de conservación y restauración en el archipiélago, para así utilizar de manera eficaz los limitados recursos destinados a estas labores. Complementariamente, es necesario dirigir los proyectos desarrollados hacia acciones prácticas, dirigidas a la recuperación urgente de este ecosistema, de manera que se combine moderadamente con investigaciones científicas, para así evitar hechos como la duplicidad de investigaciones.

Finalmente, se pretende con los resultados aquí expuestos, contribuir al manejo del problema de invasiones biológicas mediante el ordenamiento ecológico-territorial y bajo la priorización de acciones. Este trabajo es acorde y se relaciona estrechamente con la idea de llevar a las Fuerzas Armadas a realizar control de plagas invasoras a la isla Robinson Crusoe (Smith y Arellano, 2013), idea que está respaldada por pobladores, científicos, Organizaciones No Gubernamentales e Instituciones de Gobierno.

BIBLIOGRAFÍA:

ARAYA-VERGARA JF & BÖRGEL (1972) Definición de Parámetros para Establecer un Banco Nacional de Riesgos y Amenazas Naturales. Criterios para su Diseño. ONEMI/PNUD Uchile/1992/009. Chile.pp 219.

ARELLANO G (2012) Evaluación de la dinámica de invasión de *Aristotelia chilensis* (Elaeocarpaceae) y *Rubus ulmifolius* (Rosaceae) en claros de dosel en un bosque de la isla Robinson Crusoe, Archipiélago de Juan Fernández, Chile. Tesis de postgrado, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Santiago.

ARMESTO JJ, R ROZZI, C SMITH-RAMIREZ & MTK ARROYO (1998) Conservation targets in South American temperate forests. *Science*, 282:1271-1272.

ARROYO MK (1999) The Archipelago of Juan Fernandez. In: Hotspots. Eds.: Mittermeier R, N Myers, P Robles Gil & CG Mittermeier. Cemex, México.

ARROYO MTK, PA MARQUET, C MARTICORENA, JA SIMONETTI, L CAVIERES, F SQUEO & R ROZZI (2004) Chilean winter rainfall-Valdivian forest. In: MITTERMEIER RA, PR GIL, M HOFFMANN, J PILGRIM, T BROOKS, CG MITTERMEIER, J LAMOREUX & GAB DA FONSECA (eds.) Hotspots Revisted: Earth's Biologically Wealthiest and most Threatened Ecosystems. CEMEX, México D.F., pp. 99-103.

BARREDO JI (1996) Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. Madrid, Ra-Ma.

BRÜGGEN J (1950) Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar. Chile, Santiago. 374 pp.

CASTILLO J, C SMITH-RAMIREZ, H GUTIERREZ & B SEAMAN (2012) Efecto de la remoción de plantas invasoras sobre la pérdida del suelo en Robinson Crusoe, Archipiélago de Juan Fernández-Chile [En revisión].

CASTRO SA & FM JAKSIC (2008) Role of non-established plants in determining biotic homogenization patterns in Pacific Oceanic Islands. *Biological Invasions* 10: 1299-1309.

CEOTMA (1991) Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y Metodología. Madrid, Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, 3° Ed., Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Primera Edición.

CERDA I (2005) Diagnóstico Ambiental de la Isla Marinero Alejandro Selkirk, Parque Nacional Archipiélago Juan Fernández V Región Valparaíso. Memoria para optar al título de Geógrafo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago.

CONAF-REGIÓN DE VALPARAÍSO (2009) Plan de Manejo del Parque Nacional Archipiélago Juan Fernández. 294 pp.

CONAF (2010) Plan Nacional de Conservación de Especies de Flora Endémica del Archipiélago de Juan Fernández en Estado Crítico de Conservación. 80 pp.

CONAMA (2008) Biodiversidad de Chile: Patrimonio y desafíos, Ocho Libros Editores, Santiago, Chile. 640 pp.

COWLING RM, RL PRESSEY, M ROUGET & AT LOMBARD (2003) A conservation plan for a global biodiversity hotspot-the cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation* 112: 191-216.

CUEVAS JG & G VAN LEERSUM (2001) Project "conservation, restoration and development of the Juan Fernández Islands, Chile". *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 899-910.

CUEVAS JG, A MARTICORENA & LA CAVIERES (2004) New additions to the introduced flora of the Juan Fernandez Islands: Origin, distribution, life history traits and potential of invasion. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 523-538.

DANTON P & CH PERRIER (2006) Nouveau catalogue de la flore vasculaire de l'archipel Juan Fernández (Chili). *Acta Botanica Gallica* 153: 399-587.

DAVIS MA (2003) Biotic globalization: Does competition from introduced species threaten biodiversity?. *BioScience* 53 (5): 481-489.

DENSLOW JS (2003) Weeds in paradise: Thoughts on the invasibility of tropical islands. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 90: 119-127.

DÍAZ N (2013) Análisis y modelación de la evolución espacio-temporal de la invasión de *Rubus ulmifolius*, *Aristotelia chilensis* y *Ugni molinae* en la isla Robinson Crusoe. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Universidad de Chile.

DIRECCION DE BIBLIOTECAS, ARCHIVOS Y MUSEOS [en línea] <<http://www.dibam.cl/Recursos/Contenidos%5CMuseo%20Hist%C3%B3rico%20Nacional%5Carchivos%5CIslandeJuanFern%C3%A1ndez.pdf>> [consulta diciembre 2013]

DIRECCION METEOROLÓGICA DE CHILE [en línea] <<http://www.meteochile.gob.cl>> [Consulta junio 2012]

DIRNBÖCK T, J GREIMLER, S LOPEZ & TF STUESSY (2003) Predicting future threats to the native vegetation on Robinson Crusoe Island, Juan Fernandez Archipiélago, Chile. *Conservation Biology* 17(6): 1650-1659.

EASTMAN JR, PA KYEM, J TOLEDANO & W JIN (1993) *Gis and Decision Making*. United Nations Institute for training and Research (UNITAR), Ginebra.

ENDÉMICA EXPEDICIONES [en línea] <<http://www.endemica.com>> [Consulta enero 2012]

FALVEY M & GARREAUD R (2009) Regional Cooling in a Warming World: Recent Temperature Trends in the Southeast Pacific and along the West Coast of Subtropical South America. *Journal of Geophysical research*. 114: D0412 .

FORMAN RTT & M GODRON (1986) *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons, Nueva York.

GOMEZ M & J BARREDO (2005) *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. 2da Edición. 279 pp.

GONZÁLEZ-FERRÁN O (1987) Evolución Geológica de las Islas Chilenas en el Océano Pacífico. pp 37-54. En: *Islas Oceánicas Chilenas: Conocimiento Científico y Necesidades de investigación*. JC Castilla (Ed). 1987. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

GREIMLER J, LOPEZ P, STUESSY T & DIRNBOCK T (2002) The Vegetation of Robinson Crusoe Island (Isla Masatierra), Juan Fernandez Archipelago, Chile. *Pacific Science* 56: 263-284.

HOFFMAN A & C MARTICORENA (1987) La vegetación de las Islas Oceánicas Chilenas. Pp 127-165. En: *Islas Oceánicas Chilenas: Conocimiento Científico y Necesidades de investigación*. JC Castilla (Ed). 1987. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES-CORFO (1982) *Estudios de los recursos físicos del archipiélago Juan Fernández-Región de Valparaíso*. 378 pp.

JOHOW F (1896) *Estudio sobre la Flora de las Islas de Juan Fernández*. Imprenta Cervantes, Santiago, Chile.

KOLAR CS & DM LODGE (2001) Progress in invasion biology: Predicting invaders. *Trends in Ecology & Evolution* 16(4): 199-204.

KOTTSBERG C (1953) The vegetation of the Juan Fernández Island. In: Skottsberg C (ed) *The natural history of Juan Fernández and easter island*: 793-960. Almqvist & Wiksells. Boktryckeri AB, Uppsala, Sweden.

KREMER K & C SMITH-RAMIREZ (2012) Análisis climático del archipiélago Juan Fernández: Tendencia a largo plazo y frente a las variaciones interanuales El Niño y La Niña [En revisión]

LABORATORIO INVASIONES BIOLÓGICAS [en línea]
<<http://www.lib.udec.cl/invasiones.html>> [Consulta Octubre 2012]

LEUSCHNER C (2005) Vegetation and ecosystem. En: Vegetation ecology van der Maarel.

LOOPE L & D MUELLER-DOMBOIS (1989) Characteristics of invaded island with special reference to Hawaii. In Drake et al eds. Biological invasions: a global perspective Wiley, Chichester: 257-280.

MACK RN, D SIMBERLOFF, WM LONSDALE, H EVANS, M CLOUT & F BAZZAZ (2000) Biotic invasions: Causes epidemiology, global consequences and control. Ecological Applications 10(3): 689-710.

MALCZEWSKI J (1999) GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York, Jhon Wiley & Sons, Inc.

MARTICORENA C (1990) Contribución a la estadística de la flora vascular de Chile. Gayana 47 (3-4): 85-113.

MINISTERIO DE AGRICULTURA (1984) Ley N°18.362, Crea el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.

MITTERMEIER RA, PR GIL, M HOFFMAN, J PILGRIM, T BROOKS, CG MITTERMEIER, J LAMOREUX & GAB DA FONSECA (eds.) (2004) Hotspots Revisted: Earth's Biologically Wealthiest and most Threatened Ecosystems. CEMEX, México D.F.

MOONEY HA & RJ HOBBS (2000) Invasive species in a changing world. Island Press, Washington: 457 pp.

MURCIA C (1995) Edge effects in fragmented forest: implication free conservation. Trends in Ecology and Evolution 10: 58-62.

MYERS N, RA MITTERMEIER, CG MITERMEIER, GAB DA FONSECA & J KENT (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403: 853-858.

NUÑEZ E (2008) Método para la Planificación del Manejo de Áreas Protegidas. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile. 135 pp.

ORSI F & D GENELETTI (2010) Identifying priority areas for Forest Landscape Restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. Lanscape and Urban Plannig 94:20-30.

PRESSEY RL & RM COWLING (2001) Reserve selection algorithms and the real world. Conservation Biology 15: 275-277.

PRIMACK R, R ROZZI, P FEINSINGER, R DIRZO & F MASSARDO (eds) (2001) Fundamentos de conservación biológica, perspectivas latinoamericanas. Primera edición. Fondo de Cultura Económica, México DF. 497 pp.

PURVIS A & A HECTOR (2000) Getting the measure of biodiversity.

QUIROZ C, A PAUCHARD, A MARTICORENA & L CAVIERES (2009) Manual de plantas invasoras del centro-sur de Chile.

ROMERO H & VÁSQUEZ A (2005) Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. EURE N° 94 Vol. 31: pp 97-117.

SALA OE, F STUART CHAPIN III, JJ ARMESTO, E BERLOW, J BLOOMFIELD, R DIRZO, E HUBER SANWALD, LF HUENNEKE, RB JACKSON, A KINZIG, R LEEMANS, DM LOGDE, HA MOONEY, M OESTERHELD, M LEROY POFF, MT SYKES, BH WALKER, M WALKER & DH WALL (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science 287: 1770-1774.

SMITH-RAMIREZ C & G ARELLANO (2013) Necesidad de que las Fuerzas Armadas realicen un control de las plantas invasoras en el Archipiélago de Juan Fernández, Chile. Bosque 34 (1): 3-6.

SMITH-RAMIREZ C, G ARELLANO, E HAGEN, R VARGAS, J CASTILLO, A MIRANDA (2013) El rol de *Turdus falcklandii* (Aves: Passeriforme) como dispersor de plantas invasoras en el archipiélago de Juan Fernández. Revista Chilena de Historia Natural 86: 33-48.

SOCIETY OF ECOLOGICAL RESTORATION Organización de recuperación de ecosistemas degradados [en línea] <<https://www.ser.org/>> [Consulta Junio 2012]

STUESSY T (1992) Diversidad de plantas en las islas Robinson Crusoe: pp 54-56. En: Flora silvestre de Chile. Jürke Grau & George Ziska (eds). Palmengarten Sonderheft 19, Frankfurt am Main, Alemania.

TANSLEY AG (1935) The use and abuse of vegetational concepts and terms.

TROLL C (1939) "Luftbildplan und ökologische bodenforschung", Zeitschrift der gesellschaft für erdkunde zu Berlin, N° 7-8, pp. 241-298.

TUXILL J & GP NABHAN (2001) Plantas, comunidades y áreas protegidas. Una guía para el manejo in situ. 227 pp.

VAN ZUIDAM R A (1986). Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. Smits Publishers. The Hague, Netherlands. 442 pages.

VARGAS R & A REIF (2009) The structure, regeneration and dynamics of the original forest of Robinson Crusoe's island (Juan Fernández Archipelago, Chile): Baseline for its restoration. Presentation XVIII World Forest Congress, Argentina.

VARGAS R (2004) Caracterización de los bosques originales de la isla Robinson Crusoe. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Chile, Valdivia. 84 pp.

VARGAS R, A REIF & MJ FAÚNDEZ (2011) The forest of Robinson Crusoe Island, Chile: an endemism hotspot in danger. *Bosque* 32: 61-71.

VARGAS R, J CUEVAS, C LE QUESNE, A REIF & J BANNISTER (2010) Spatial distribution and regeneration strategies of the main forest species on Robinson Crusoe Island. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 349-363.

VARGAS RÍOS O. (2011). Restauración Ecológica, Biodiversidad y Conservación. *Acta biol.Colomb.* [en línea] <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2011000200017&lng=en> [Consulta el 29 de Septiembre].

VOOGD H (1983) *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London, Pion.

WCMC (2000) *Prioritisation of target areas for forest restoration. Final Report*. Producido para WWF Internacional.