



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA  
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

AND

TH KÖLN - UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS

**ANÁLISIS ESPACIAL DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN RESERVA DE LA BIOSFERA LA  
CAMPANA - LAGO PEÑUELAS, CHILE**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
Grado otorgado por  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

AND

MASTER OF SCIENCE  
Natural Resources Management and Development  
Grado otorgado por  
TH KÖLN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PRESENTA:

VÍCTOR OSCAR LEANDRO COBS MUÑOZ

CO-DIRECTOR DE TESIS PMPCA  
DRA. MARÍA GUADALUPE GALINDO

CO-DIRECTOR DE TESIS ITT

DR. JACKSON ROEHRIG

ASESOR:

DR. MANUEL FUENZALIDA DÍAZ

**Proyecto Realizado en:**

**PMPCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA SAN LUIS POTOSÍ**

**Con el apoyo de:**

**Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL PROGRAMA  
NACIONAL DE POSGRADOS (PNPC - CONACYT)**

## Erklärung / Declaración

Masterarbeitstitel / Título de tesis: ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN RESERVA DE LA BIOSFERA LA CAMPANA - LAGO PEÑUELAS A TRAVÉS DE IMÁGENES LANDSAT

Name / Nombre: VÍCTOR OSCAR LEANDRO COBS MUÑOZ

Matri.-Nr. / N° de matrícula: 11103522 (TH Köln) – 242745 (UASLP)

Ich versichere wahrheitsgemäß, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Aseguro que yo redacté la presente tesis de maestría independientemente y no use referencias ni medios auxiliares a parte de los indicados. Todas las partes, que están referidas a escritos o a textos publicados o no publicados son reconocidas como tales.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden.

Hasta la fecha, un trabajo como éste o similar no ha sido entregado como trabajo de tesis.

Quillota den /el: 19/01/2017

Unterschrift / Firma: Victor Cobs Muñoz

Ich erkläre mich mit einer späteren Veröffentlichung meiner Masterarbeit sowohl auszugsweise, als auch Gesamtwerk in der Institutsreihe oder zu Darstellungszwecken im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Institutes einverstanden.

Estoy de acuerdo con una publicación posterior de mi tesis de maestría en forma completa o parcial por las instituciones con la intención de exponerlos en el contexto del trabajo de investigación de las mismas.

Unterschrift / Firma: Victor Cobs Muñoz

**ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN RESERVA DE LA BIOSFERA LA CAMPANA - LAGO  
PEÑUELAS, CHILE**

## Agradecimientos

A los Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales (PMPCA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y al *Institute for Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics* (ITT) de la TH Köln, por el respaldo entregado. A la M.I. Maricela Rodríguez y a la Dipl.-Ing. Sandra Avendaño, M.Eng, por permitir que este proceso a distancia pudiera terminar sin mayores contratiempos. A la QFB. Laura Begbeder por la posibilidad de facilitar procesos, que paradójicamente no es fácil.

A los profesores Dra. María Guadalupe Galindo, Dr. Jackson Roehrig y Dr. Manuel Fuenzalida por la confianza expresada en este proceso de tesis. A los profesores Dr. Carlos Muñoz y Dr. Juan Antonio Reyes Agüero, por haber tenido el privilegio de haber sido su estudiante en las mejores clases que he tenido en mi carrera académica.

Finalmente, agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por permitirme ser parte de su programa de becarios y financiar este proceso.

## Contenidos

|  |    |
|--|----|
| Erklärung / Declaración .....  | 4  |
| Agradecimientos .....  | 6  |
| Contenidos .....   | 7  |
| Índice de imágenes.....  | 9  |
| Índice de cartografías.....  | 9  |
| Índice de gráficos .....   | 10 |
| Índice de tablas .....   | 11 |
| Lista de abreviaciones .....   | 12 |
| I. Resumen.....  | 13 |
| II. Abstract .....   | 14 |
| III. Introducción .....  | 15 |
| IV. Objetivos .....  | 18 |
| 1. <b>Capítulo I.</b> La Reserva de la Biosfera la Campana – Peñuelas, contexto histórico y actual ..... | 19 |
| 1.1. Antecedentes .....  | 19 |
| 1.2. Reservas de la Biosfera.....  | 21 |
| 1.2.1. Funciones .....   | 22 |
| 1.3. La Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas.....  | 24 |
| 1.3.1. Ubicación de la RBCP.....   | 24 |
| 1.3.2. Caracterización de la RBCP.....   | 26 |
| 1.3.2.1. Situación sociodemográfica .....  | 32 |
| 1.3.2.2. Contexto económico .....  | 34 |
| 1.4. Problematización de los instrumentos de ordenamiento territorial competentes.....                   | 36 |
| 1.4.1. Sobre el plan de gestión de la RBCP .....   | 40 |
| 2. <b>Capítulo II.</b> Uso de suelo: Nociones, perspectivas de análisis y metodología .....              | 51 |
| 2.1. Fundamentos generales.....  | 51 |
| 2.1.2. Lo urbano como elemento central.....  | 52 |
| 2.2. Metodología y procesos .....  | 53 |
| 2.2.1. Insumos: obtención de imágenes Landsat y digitalización de información espacial.....              | 55 |
| 2.2.2. Definición e identificación de categorías de uso de suelo .....                                   | 56 |
| 2.2.3. Tratamiento de imágenes y agrupación de la información .....                                      | 58 |
| 2.2.4. Consideraciones para el análisis de resultados.....   | 62 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.     | <b>Capítulo III. Detección y análisis de cambio de uso de suelo</b> .....  | 64  |
| 3.1.   | Identificación de uso de suelo por categorías.....   | 64  |
| 3.1.1. | Separación de vegetación .....   | 64  |
| 3.1.2. | Separación de agua .....   | 66  |
| 3.1.4. | Identificación uso de suelo urbano .....   | 68  |
| 3.1.3. | Identificación uso de suelo agrícola .....   | 71  |
| 3.1.5. | Identificación de suelo sin vegetación .....   | 72  |
| 3.2.   | Integración de datos geospaciales .....  | 73  |
| 3.3    | Detección de cambio.....   | 75  |
| 3.4.   | Análisis de resultados.....  | 81  |
| 3.4.1. | Respecto a las categorías .....  | 81  |
| 3.4.2. | Respecto al uso de suelo por zonas .....   | 84  |
| 3.4.3. | Respecto a la coherencia con el plan de gestión RBCP .....   | 93  |
| V.     | Discusión .....  | 96  |
| VI.    | Conclusiones finales.....  | 98  |
| VII.   | Referencias bibliográficas .....   | 99  |
| VIII.  | Anexos .....   | 103 |
|        | Anexo 1. Mapa 9.A.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 1985 (A).<br>Elaboración del autor .....                     | 103 |
|        | Anexo 2. Mapa 9.B.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 1995 (B).<br>Elaboración del autor .....                     | 104 |
|        | Anexo 3. Mapa 9.C.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 2005 (C).<br>Elaboración del autor .....                     | 105 |
|        | Anexo 4. Mapa 9.D.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 2015 (D).<br>Elaboración del autor .....                     | 106 |
|        | Anexo 5. Gráfico 20: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona núcleo por decenios de<br>análisis. Elaboración del autor .....           | 107 |
|        | Anexo 6. Gráfico 21: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona de amortiguación por<br>decenios de análisis. Elaboración del autor ..... | 108 |
|        | Anexo 7. Gráfico 22: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona de transición por<br>decenios de análisis. Elaboración del autor. ....    | 109 |
|        | Anexo 8. Gráfico 23: Porcentaje de cambio de uso de suelo entre años 1985 a 2015.<br>Elaboración del autor .....                               | 110 |

## Índice de imágenes

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Esquema de zonificación de Reservas de la Biosfera. Elaboración del autor en base a Borsdorf et al. (2013) y Negrete et al. (2010) ..... | 23 |
| Imagen 1. Vista al Cerro La Campana exposición norte. Palmas chilenas ( <i>Jubaea chilensis</i> ). Fuente: Ministerio del Medio Ambiente 2015. ....     | 28 |
| Imagen 2. Sector "Los Coipos", Lago Peñuelas. Árboles "Molle" ( <i>Schinus latifolius</i> ). Fuente: Altitud Cordada .....                              | 29 |
| Imagen 3. Gato huiña, güiña o gato colorado ( <i>Leopardus guigna</i> ). Fuente: Apuntes de Derecho Página Web .....                                    | 29 |
| Imagen 4. Vizcacha ( <i>Lagidium viscacia</i> ). Fuente: Apuntes de Derecho Página Web .....  | 30 |
| Imagen 5. Lagartija esbelta o tenue ( <i>Liolaemus tenuis</i> ). Fuente: Constanzataes Página Web 2014 30   |    |
| Imagen 6. Robledal del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble. Fuente: LaderaSur .....   | 31 |
| Imagen 7: Captura de pantalla para módulo SPEAR Vegetation Delineation and Stress Detection en ENVI 5.3.....  | 64 |
| Imagen 8: Captura de pantalla de producto del módulo SPEAR Vegetation Delineation en ENVI 5.3 .....   | 65 |
| Imagen 9: Imagen Landsat 5 año 1995 en combinación de bandas 4-3-2. Elaboración del autor en ENVI 5.3.....  | 69 |
| Imagen 10: Imagen Landsat 8 año 2015 en combinación de bandas 4-3-2. Elaboración del autor en ENVI 5.3.....   | 69 |
| Imagen 11: Captura de pantalla portal "Wikimapia". Elaboración del autor .....  | 70 |
| Imagen 12: Captura de pantalla de "Google Earth Pro" y el uso de imagen histórica. Elaboración del autor .....  | 70 |
| Imagen 13: Antenas de alta tensión en Cuesta La Dormida, 17 km de Olmué hacia el este. Ruta F-10-G. Elaboración del autor .....                         | 84 |

## Índice de cartografías

|  |           |
|--|-----------|
| Mapa 1. Localización RBCP en contexto regional. Elaboración del autor.....   | 24        |
| <i>Mapa 2. Localización de la RBCP en el contexto regional. Elaboración del autor. ....</i>  | <i>25</i> |
| Mapa 3. Composición comunal de la RBCP. Elaboración del autor .....  | 26        |
| Mapa 4: Mapas de detección de uso de suelo por vegetación para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor .....             | 66        |
| Mapa 5: Mapas de detección de uso de suelo urbano para cuerpos de agua para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor..... | 68        |
| Mapa 6: Mapas de detección de uso de suelo urbano para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor .....                     | 71        |
| Mapa 7: Mapas de detección de uso de suelo agrícola para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor .....                   | 72        |
| Mapa 8: Mapas de detección de uso de suelo sin vegetación para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor .....             | 73        |
| Mapa 9: Mapas de Integración de categorías de uso de suelo para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor .....            | 74        |

## Índice de gráficos

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 1: Total población intercensal por comunas intersectadas por la RBCP. Elaboración del autor fundado en bases de datos censales públicas.....                        | 33  |
| Gráfico 2: Variación intercensal 1982 - 2012 por comunas RBCP. Elaboración del autor fundado en bases de datos censales públicas.....                                       | 34  |
| Gráfico 3: Porcentaje de presencia rural de actividad económica por rama en la Región de Valparaíso. Elaboración del autor fundado en bases de datos censales públicas..... | 35  |
| Gráfico 4: Porcentajes de uso de suelo de la RBCP por año. Elaboración del autor.....   | 75  |
| Gráfico 5: Porcentaje de uso de suelo por año dentro de la Zona Núcleo de la RBCP. Elaboración del autor.....   | 76  |
| Gráfico 6: Porcentaje de uso de suelo por año dentro de la Zona de Amortiguación de la RBCP. Elaboración del autor.....   | 76  |
| Gráfico 7: Porcentaje de uso de suelo por año dentro de la Zona de Transición de la RBCP. Elaboración del autor.....  | 77  |
| Gráfico 8: Porcentajes de uso de suelo de la RBCP por año excluyendo categoría "sin vegetación". Elaboración del autor.....   | 81  |
| Gráfico 9: Porcentajes de uso de suelo de la RBCP por año para las categorías urbano, agrícola y agua. Elaboración del autor.....   | 83  |
| Gráfico 10: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría bosque y matorral en la zona núcleo. Elaboración del autor.....   | 85  |
| Gráfico 11: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría urbano en la zona de amortiguación. Elaboración del autor.....  | 86  |
| Gráfico 12: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría agrícola en la zona de amortiguación. Elaboración del autor.....  | 87  |
| Gráfico 13: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría sin vegetación en la zona de amortiguación. Elaboración del autor.....  | 88  |
| Gráfico 14: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría urbano en la zona de transición. Elaboración del autor.....   | 89  |
| Gráfico 15: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría agrícola en la zona de transición. Elaboración del autor.....   | 90  |
| Gráfico 16: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría agua en la zona de transición. Elaboración del autor.....   | 91  |
| Gráfico 17: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría sin vegetación en la zona de transición. Elaboración del autor.....   | 91  |
| Gráfico 18: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría bosque en la zona de transición. Elaboración del autor.....   | 92  |
| Gráfico 19: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría matorral en la zona de transición. Elaboración del autor.....   | 93  |
| Anexo 5. Gráfico 20: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona núcleo por decenios de análisis. Elaboración del autor.....  | 107 |
| Anexo 6. Gráfico 21: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona de amortiguación por decenios de análisis. Elaboración del autor.....                                  | 108 |
| Anexo 7. Gráfico 22: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona de transición por decenios de análisis. Elaboración del autor.....                                     | 109 |

|   |     |
|---|-----|
| Anexo 8. Gráfico 23: Porcentaje de cambio de uso de suelo entre años 1985 a 2015. Elaboración del autor ..... | 110 |
|---|-----|

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Registro de imágenes Landsat adquiridas desde EarthExplorer .....  | 56 |
| Tabla 2: Características de bandas por sensor de satélite. Elaboración del autor en base a información USGS .....                           | 60 |
| Tabla 3: Asignación de códigos únicos a las diferentes categorías de análisis .....   | 62 |
| Tabla 4: Valores asignados y resultantes para análisis comparativos bianuales según categorías de uso de suelo. Elaboración del autor ..... | 63 |
| Tabla 5: Tabla de interpretación de cambio de uso de suelo según valores obtenidos. Elaboración del autor .....                             | 63 |
| Tabla 6: Porcentajes de uso de suelo según zonificación de la RBCP por categorías y años. Elaboración del autor .....                       | 75 |
| Tabla 7: Categorías convertidas a otras categorías, por hectáreas transformadas para el año 2015. Elaboración del autor .....               | 77 |
| Tabla 8: Resultados de análisis de cambio en porcentaje según medidas de área por zona núcleo RBCP. Elaboración del autor .....             | 78 |
| Tabla 9: Resultados de análisis de cambio en porcentaje según medidas de área por zona de amortiguación RBCP. Elaboración del autor. ....   | 79 |
| Tabla 10: Resultados de análisis de cambio en porcentaje según medidas de área por zona de transición RBCP. Elaboración del autor.....      | 80 |

## Lista de abreviaciones

|        |   |
|--------|---|
| UNESCO | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (en inglés <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> ) |
| MAB    | Hombre y biosfera (en inglés <i>Man and biosphere</i> )   |
| RBCP   | Reserva de la biosfera La Campana - Peñuelas  |
| SNASPE | Sistema nacional de áreas silvestres protegidas por el estado   |
| PN     | Parque nacional   |
| RN     | Reserva nacional  |
| MN     | Monumento nacional  |
| RB     | Reserva de la biosfera  |
| CONAF  | Corporación nacional forestal   |
| INE    | Instituto nacional de estadísticas  |
| CASEN  | Encuesta de Caracterización socioeconómica  |
| IPT    | Instrumento de planificación territorial  |
| LGUC   | Ley general de urbanismo y construcción   |
| OMT    | Organización mundial del turismo  |
| ONU    | Organización de las naciones unidas   |
| LULC   | Uso de suelo y cobertura de suelo (en inglés <i>Land use/Land cover</i> )   |
| TM     | Mapeador temática (en inglés <i>Thematic mapper</i> )   |
| SIG    | Sistema de información geográfica   |
| CORINE | Coordinación de la información sobre el medio ambiente (en inglés <i>coordination of information on the environment</i> )   |
| USGS   | Servicio geológico de los Estados Unidos (en inglés <i>United States Geological Survey</i> )  |

## I. Resumen

Las Reservas de la Biosfera se gestan siguiendo una intencionalidad por proteger aquellos paisajes naturales y culturales de gran valor ecológico y patrimonial, de constantes amenazas a los ecosistemas a partir de la explotación de recursos naturales por sobre los límites de sus capacidades (Borsdorf & Araya-Rosa, 2014). En esta perspectiva, la Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas, decretada en 1984, es fundamental en la protección del mosaico de ecosistemas de Chile mediterráneo, reconocidos a nivel mundial por su alto grado de riqueza y endemismo (Moreira-Muñoz & Salazar, 2014).

En Chile el cambio de uso de los suelos constituye el principal factor antrópico que ha ocasionado cambios en los ecosistemas terrestres naturales del país, siendo las actividades desarrolladas por la industria forestal, agrícola y por la urbanización, las mayores amenazas para estos cambios (Ministerio del Medio Ambiente, 2014). Bajo esta problemática, la Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas, se inserta en una trama de constante presión inmobiliaria, logística portuaria, agrícola intensiva y población flotante, dinámicas que inyectan un grado importante de transformaciones continuas en el territorio, lo cual inquieta y dificulta los propósitos esenciales de protección y desarrollo sustentable de esta área de reserva.

Para aportar al proceso de monitorear la representación espacial de las orientaciones generales y específicas de la Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas, se plantea el análisis de cambio de uso de suelo a partir de imágenes Landsat para cuatro decenios de análisis: 1985, 1995, 2005 y 2015. Como metodología se propone una problematización crítica del contexto, para luego la implementación de detección de categorías análogas por procesos individuales de extracción de la información espacial.

**Palabras clave:** Cambio de uso de suelo, Landsat, Reserva de la Biosfera

## II. Abstract

Biosphere Reserves are developed following an intentionality to protect natural and cultural landscapes of great ecological and patrimonial value, from constant threats to ecosystems by the exploitation of natural resources over the limits of their capabilities (Borsdorf & Araya- Rosa, 2014). In this perspective, the Biosphere Reserve *La Campana – Peñuelas*, decreed in 1984, is fundamental in the protection of the mosaic of Mediterranean Chile ecosystems, recognized worldwide for their high degree of wealth and endemism (Moreira-Muñoz & Salazar, 2014).

In Chile, land use change is the main anthropic factor that has caused changes in the country's natural terrestrial ecosystems, the activities of the forestry, agriculture and urbanization industries being the main threats to these changes (Ministry of Environment, 2014). Under this problem, the Biosphere Reserve *La Campana – Peñuelas* is inserted in a pattern of constant real estate pressure, port logistics, intensive agriculture and floating population, dynamics that inject an important degree of continuous transformations in the territory, which hinders the essential purposes of protection and sustainable development of this reserve area.

In order to contribute to the process of monitoring the spatial representation of the general and specific orientations of the Biosphere Reserve *La Campana – Peñuelas*, the analysis of land use change from Landsat images is proposed for four decades of analysis: 1985, 1995, 2005 and 2015. As a methodology, a critical problem identification of the context is proposed, followed by the implementation of detection of analogous categories by individual processes of extraction of spatial information.

**Keywords:** Land use change, Landsat, Biosphere Reserve

### III. Introducción

Como sociedad nos encontramos en un contexto de creciente globalización comercial y de creciente movilidad de capital en tiempo real, donde pareciera que el crecimiento depende cada vez más de factores exógenos. Debido al precedente histórico, estas dinámicas que rigen el comportamiento sistémico del mercado, se encuentran en un plano de discusión económico-político que no vislumbra una pronta llegada a puerto, ni en el mediano o largo plazo. En efecto, tal como señalan Borsdorf & Araya-Rosas (2014), debido al uso de los recursos naturales más allá de los límites de sus capacidades y también a causa del fuerte deterioro de los ecosistemas, es fundamental proteger aquellos paisajes naturales y culturales de gran valor ecológico y patrimonial. Las áreas protegidas han cumplido ese rol durante más de un siglo, pero las amenazas a los ecosistemas no cesan, de manera que es fundamental explorar nuevas formas de convivencia humana en armonía con el medio. Es a partir de esta necesidad que surge el concepto de ‘Reservas de la Biosfera’.

Según la UNESCO (1996), las Reservas de la Biosfera, en el marco del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB; siglas para *Man and biosphere* por su nombre en inglés), son ecosistemas terrestres y costeros/marinos, o una combinación de los mismos, cuya principal meta es la de promover soluciones para la reconciliación de la conservación de la biodiversidad y sus usos sostenibles (Córdoba, 2012). Son entidades legales sometidas a la jurisdicción soberana de los estados en que esté situada y son nombradas a nivel nacional, para posteriormente ser reconocidas por un comité internacional, donde deben cumplir con tres funciones fundamentales y complementarias: **conservación, desarrollo y logística**.

Es el caso de la reserva de la Biosfera de Chile, “La Campana – Peñuelas”, decretada en 1984, ubicada en la zona central del país y que según Moreira-Muñoz & Salazar (2014), es fundamental en la protección del mosaico de ecosistemas de Chile mediterráneo, reconocidos a nivel mundial por su alto grado de riqueza y endemismo. Esta micro-región, se inserta en una trama interregional con

una alta concentración demográfica, desarrollo de infraestructura y actividad industrial, por lo que la constante presión inmobiliaria, logística portuaria, agrícola intensiva y población flotante, inyectan un grado importante de constantes cambios en el territorio, lo cual podría inquietar los propósitos esenciales de protección y desarrollo sustentable de esta área de reserva.

Por consiguiente, se plantea en este trabajo de tesis, ahondar en las transformaciones espaciotemporales de la Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas (RBCP) desde un enfoque de análisis de cambio de uso de suelo. Se inicia desde una hipótesis descriptiva de investigación, estableciéndose que “el uso de suelo de la RBCP ha mutado a través de los años, alejándose paulatinamente de la función de conservación para proteger los recursos genéticos, las especies, los ecosistemas y los paisajes de aquél espacio geográfico”.

En dicho aspecto, se han documentado dinámicas dentro de la RBCP de diferente orden y naturaleza (A. Borsdorf & Araya-Rosas, 2014; Coppin & Morales, 2013; Figueroa et al., 2012; Fuenzalida, Figueroa, & Negrete, 2013; Gobierno Regional de Valparaíso, 2009; Hauenstein et al., 2009; Moreira-Muñoz & Salazar, 2014; Negrete, Figueroa, & Velut, 2010), las cuales han influido en la constante transformación del uso de suelo de este espacio geográfico. Sin embargo, el área de estudio carece de información espaciotemporal que enfoque sus esfuerzos en analizar el cambio de uso de los suelos, en coherencia a los lineamientos de gestión de la RBCP establecido por el Gobierno Regional de Valparaíso, (2009).

Importante es mencionar el panorama que levanta Pineda-Jaimes, Bosque-Sendra, Gómez-Delgado & Plata-Rocha (2009), donde señalan que los cambios del uso del suelo ya sean legales o ilegales son cada día más frecuentes y que, la literatura científica indica por un lado, que la modificación de la cobertura y uso del suelo se debe a la interacción de factores económicos, políticos y ecológicos (Meyer y Turner, 1992; Walter y Steffen, 1997; Geist y Lambin, 2001). De igual forma se acusa la

falta de trabajos de análisis cuantitativos que permitan explicar las causas y efectos de estos factores, ya que también las interpretaciones de cómo estos interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra (Skole et al., 1994; KummDer y Turner, 1994).

En este contexto, es posible señalar que las acciones humanas tienen sus repercusiones a diferentes escalas, tanto espaciales como temporales. En el caso de la transformación de las coberturas vegetales y el cambio de uso de suelo, señala Sahagún-Sánchez, (2012), constituyen dos de las principales amenazas para la biodiversidad en todo el mundo. En efecto, desde Chile, el Ministerio del Medio Ambiente (2014) señala que, el cambio de uso de los suelos constituye el principal factor antrópico que ha ocasionado cambios en los ecosistemas terrestres naturales del país, siendo las actividades desarrolladas por la industria forestal, agrícola y por la urbanización, las mayores amenazas para estos cambios; a través de la tala irregular de los bosques y las plantaciones con especies exóticas, a través del despeje de bosques para el establecimiento de pastizales y cultivos y, la presión inmobiliaria en constante aumento, respectivamente.

La utilización del territorio en ciertos contextos de la RBCP es inconexa a una realidad compleja y, de igual forma, carece de proyección guía que admita plasticidad en cuanto a las potenciales transformaciones inherentes al espacio. Existe la necesidad de mejorar el entendimiento de la dinámica de cambio de uso de suelo, a través de modelos y proyecciones a escalas globales, regionales y temporales, particularmente con un enfoque sobre la explicación espacial de los procesos y resultados (Reynoso Santos, Valdez Lazalde, Escalona Maurice, de los Santos Posadas, & Pérez Hernández, 2016). Es por ello que se torna importante poder analizar estos cambios de uso de suelo y, aportar de esta forma a evaluar el acontecer histórico, actual y perspectiva futura de la RBCP en torno a los objetivos fundamentales de esta área.

## IV. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es analizar el cambio de uso de suelo en la Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas a través de imágenes LANDSAT. Para construir la resolución de dicho objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- A. Contextualizar y problematizar la gestión de la Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas
- B. Adquisición y tratamiento de serie temporal de imágenes LANDSAT, fundado en el establecimiento de rango temporal de análisis según la evidencia y disponibilidad de productos
- C. Identificación y clasificación de categorías de uso de suelo de la Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas
- D. Detección y análisis de cambio de uso de suelo y su coherencia con el plan de gestión de la Reserva de la Biosfera.

# 1. Capítulo I. La Reserva de la Biosfera la Campana – Peñuelas, contexto histórico y actual

## 1.1. Antecedentes

La protección de los lugares específicos del paisaje es un acto cultural y universal practicado desde tiempos antiguos, señalan Schreiner, Armanini & Palma (2015). Los autores exponen que en la historia, determinadas zonas fueron segregadas para el establecimiento de reservas de caza y protección de lugares considerados como sagrados por varias culturas. En la consolidación de la protección de territorios, se crea en 1872 el parque de Yellowstone, en los Estados Unidos. A partir de entonces, estas áreas prosperaron en todo el mundo, establecidas bajo un criterio principal basado en la belleza escénica natural de los sitios. A partir de 1960, las áreas protegidas se convirtieron en una estrategia importante para promover la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

Para lograr dichos objetivos, Negrete et al. (2010) indican que cada país implementa un sistema particular, combinando de manera variable instrumentos existentes de conservación, de urbanismo y ordenamiento del territorio para espacios urbanos, rurales y metropolitanos (planes reguladores comunales, intercomunales, metropolitanos o su equivalente), apoyándose o no en instrumentos internacionales (como zonas *MAB*), destacándose los instrumentos “híbridos”, que cruzan las categorías jurídicas, los tipos de actores involucrados (públicos y privados, locales, nacionales e internacionales, etc.) y recortan los límites administrativos existentes. Estas innovaciones configuran sistemas de protección que combinan estas iniciativas con los dispositivos existentes, dando lugar a situaciones a veces confusas.

En términos de protección, Hauenstein et al. (2009) señalan que el concepto de área protegida es amplio y su definición es discutida en la literatura. Si bien la amplitud de este concepto puede diferir, el objetivo es muy similar, la conservación de la naturaleza. En Chile existe el Sistema Nacional de

Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), el cual comprende cuatro categorías: Reserva de región virgen (RV), Parques Nacionales (PN), Reservas Nacionales (RN) y Monumentos Naturales (MN). Actualmente alcanza 95 unidades, las que en total cubren el 19% del territorio nacional.

El SNASPE se ha constituido en un pilar fundamental para salvaguardar no sólo parte importante del patrimonio natural de Chile, sino que también para proteger y valorizar su acervo cultural, particularmente el que se encuentra inserto en las áreas que conforman dicho sistema. En la Región de Valparaíso se encuentra la Reserva Nacional Lago Peñuelas, declarada en conjunto con el Parque Nacional La Campana, Reserva de la Biósfera, debido a que posee una alta diversidad biológica y ecosistémica, representativa de ambientes mediterráneos característicos de esa región (Weber 1986, CONAF 1994, Elórtegui y Moreira-Muñoz 2002 en Hauenstein et al., 2009).

Para el interés del presente trabajo, los artículos 5° y 7° de la Ley 18.362 (Ministerio de Agricultura, 1984) que crea un Sistema Nacional de áreas silvestres protegidas del Estado, señalan que: se denomina **Parque Nacional** a un área generalmente extensa, donde existen diversos ambientes únicos o representativos de la diversidad ecológica natural del país, no alterados significativamente por la acción humana, capaces de autoperpetuarse, y en que las especies de flora y fauna o las formaciones geológicas son de especial interés educativo, científico o recreativo. Los objetivos de esta categoría de manejo son la preservación de muestras de ambientes naturales, de rasgos culturales y escénicos asociados a ellos; la continuidad de los procesos evolutivos, y, en la medida compatible con lo anterior, la realización de actividades de educación, investigación o recreación. En cuanto a la **Reserva Nacional**, se refiere a un área cuyos recursos naturales es necesario conservar y utilizar con especial cuidado, por la susceptibilidad de éstos a sufrir degradación o por su importancia relevante en el resguardo del bienestar de la comunidad. Son objetivos de esta categoría de manejo la conservación y protección del recurso suelo y de las especies amenazadas

de fauna y flora silvestres, la mantención o mejoramiento de la producción hídrica, y el desarrollo y aplicación de tecnologías de aprovechamiento racional de la flora y la fauna.

## 1.2. Reservas de la Biosfera

Las reservas de la biósfera se constituyen en el marco del Programa “Hombre y Biosfera”, establecido con el fin último de promover un desarrollo regional sustentable. Este esquema internacional de conservación, nace en 1976 en la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), entidad que ha definido lineamientos operacionales para las reservas de la biósfera como una manera de asegurar una mejor cooperación internacional. Lo anterior también toma en cuenta leyes nacionales, las cuales juegan un importante rol en la situación actual de una reserva de la biósfera (Halffter, 2011).

Se trata de extensas áreas, representativas tanto del paisaje natural como cultural, las cuales deben ser resguardadas en el largo plazo. Borsdorf, Mergili & Ortega (2013), indican que estas áreas representan un reservorio de recursos genéticos y ecosistemas y son también áreas de uso sustentable del suelo, espacios de educación, investigación y recreación. Al año 2016, existen 669 reservas de la biósfera en 120 países, incluyendo 16 sitios transfronterizos. Las reservas de la biósfera fueron señaladas como regiones modelo para el desarrollo sustentable por Little et al. (1981); Batisse (1982, 1986, 1997), Schaaf (2003), Lange (2005), y Austrian MAB Committee (2011) (A. Borsdorf et al., 2013). Sus procesos de zonificación generalmente implican la reorganización de la tierra y sus usos con el objetivo declarado de “preservar la tierra y las especies con significación e importancia global en términos de biodiversidad” (Córdoba, 2012).

Importante destacar que, según Borsdorf et al. (2013), a diferencia de otros tipos de áreas de conservación in situ, las reservas de la biosfera corresponden a un concepto creado, discutido y modificado por científicos, con el propósito de crear una alternativa distinta, pero no excluyente, a los parques nacionales y similares. Se trata de una estrategia que contemple los requerimientos de

la conservación de la biodiversidad, en conjunto a las dinámicas económicas y sociales actuales. En teoría, esta lógica permitiría conjugar la conservación del patrimonio natural con un desarrollo sustentable.

### 1.2.1. Funciones

Actualmente el Programa MAB-UNESCO, coordinador internacional de las reservas de la biosfera, se apoya en tres ejes de acción (Halffter, 2011):

- (1) Reducir al mínimo la pérdida de biodiversidad a través de la investigación y la creación de capacidades en materia de gestión.
- (2) Promover la sustentabilidad del medio ambiente.
- (3) Fortalecer los vínculos entre la diversidad cultural y la diversidad biológica.

En efecto, según la UNESCO (1996), las reservas de la biosfera deben responder a tres funciones:

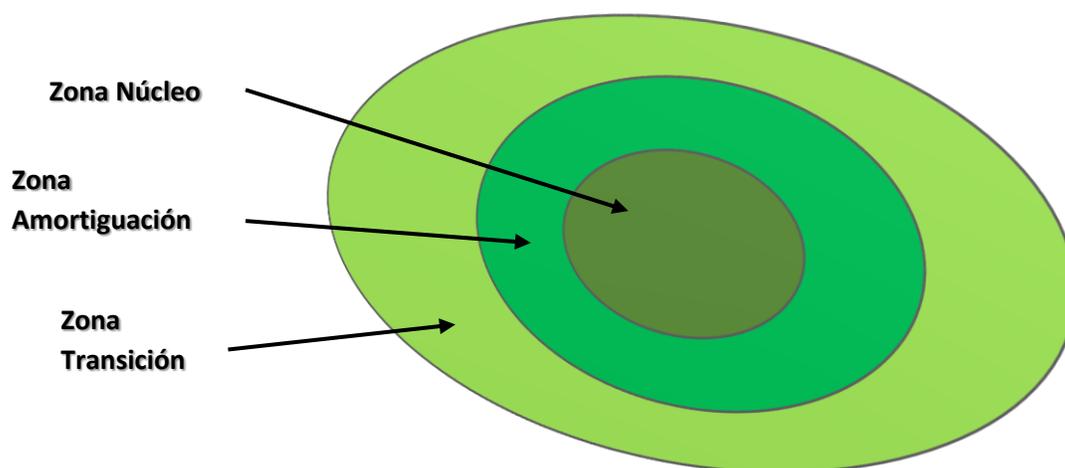
- (1) **Conservación**, para proteger los recursos genéticos, las especies, los ecosistemas y los paisajes.
- (2) **Desarrollo**, a fin de promover un desarrollo económico y humano sostenible.
- (3) **Apoyo logístico**, para respaldar y alentar actividades de investigación, de educación, de formación y de observación permanente relacionadas con las actividades de interés local, nacional y mundial encaminadas a la conservación y el desarrollo sostenible.

Borsdorf et al. (2013) nos indica que la función de (1) conservación debe asegurar el rol del área como fuente genética y refugio de paisajes naturales y culturales; a su vez, se deben resguardar los servicios ecosistémicos (e.g. agua limpia). La función de (2) desarrollo tiene por objetivo la aplicación de técnicas ecológicas y socioeconómicas sustentables en todos los sectores económicos. La función (3) logística debe facilitar la investigación multidisciplinaria y las actividades educativas. Estas funciones se articulan en la práctica a través de los Planes de Manejo que, aunque específicos para

cada Reserva de la Biosfera en cuestión, están orientados por la misma filosofía y siempre actúan a través de la **zonificación del área protegida** (Córdoba, 2012).

De igual forma, Borsdorf et al. (2013) señalan que para asegurar estas funciones, una reserva de la biósfera debe ser organizada en tres zonas:

- **núcleo central**, caracterizado por permitir un mínimo de actividad antrópica, restringida solo a investigación y educación. Esta zona es designada para conservación de los ecosistemas naturales, los cuales no deben ser perturbados por las actividades permitidas. Asimismo, esta zona es protegida por la legislación del respectivo país, por ejemplo a través de la declaración de Parque Nacional.
- **Zona de amortiguación**, donde el uso natural es permitido y actividades deseables son la agricultura orgánica o el ecoturismo. El modo de vida tradicional y las actividades económicas de la población, debe contribuir a la conservación del paisaje cultural de alto valor.
- **Zona de desarrollo (o transición)**, es la más extensa y permite diferentes tipos de uso de suelo y asentamientos. En esta zona, un trabajo en conjunto entre la población, investigadores y la administración de la reserva de la biósfera es deseable, para asegurar un uso adecuado de los recursos naturales del área durante un periodo prolongado de tiempo.



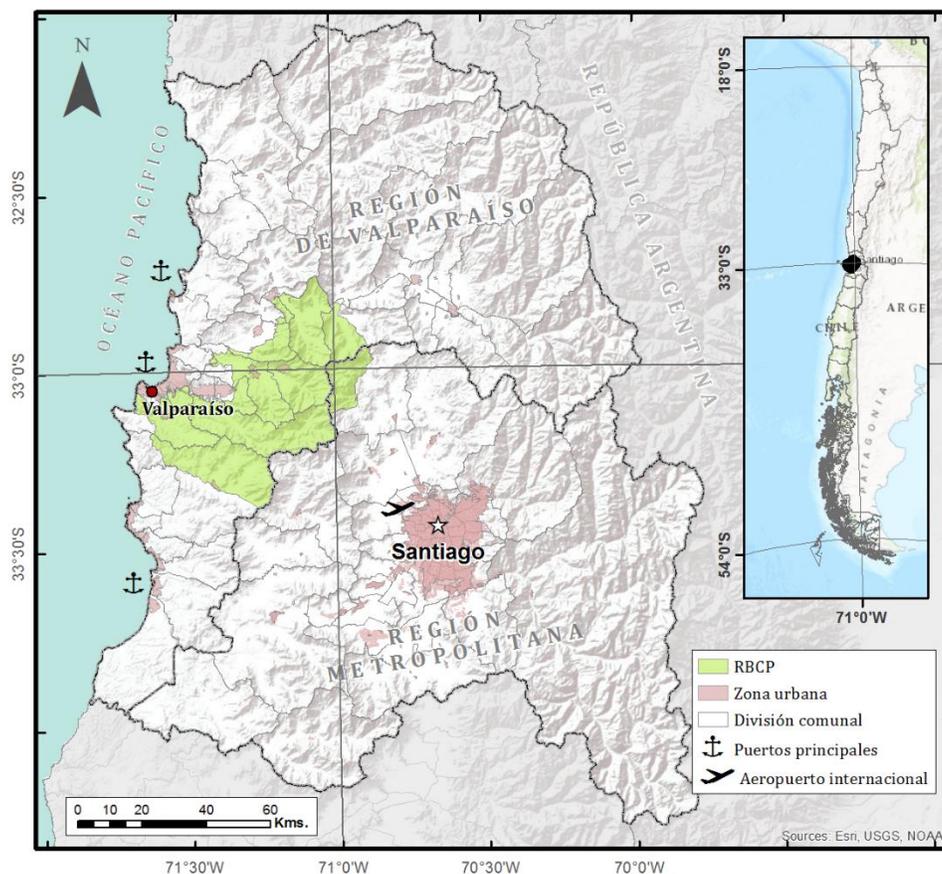
*Ilustración 1. Esquema de zonificación de Reservas de la Biosfera. Elaboración del autor en base a Borsdorf et al. (2013) y Negrete et al. (2010)*

### 1.3. La Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas

La RBCP fue decretada como tal en 1984, siendo hasta ese momento la única RB de Chile que contaba con dos unidades núcleo separadas entre sí. La zonificación que incluye actualmente las zonas de amortiguación y transición fue aprobada durante el año 2009, junto con su Plan de Gestión. Tal como indica su nombre, los dos núcleos son: El Parque Nacional La Campana y la Reserva Nacional Lago Peñuelas. Colindante hacia el oriente de La Campana se encuentra el Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble (ver Mapa 2), creado en el año 2001 (Moreira-Muñoz & Salazar, 2014).

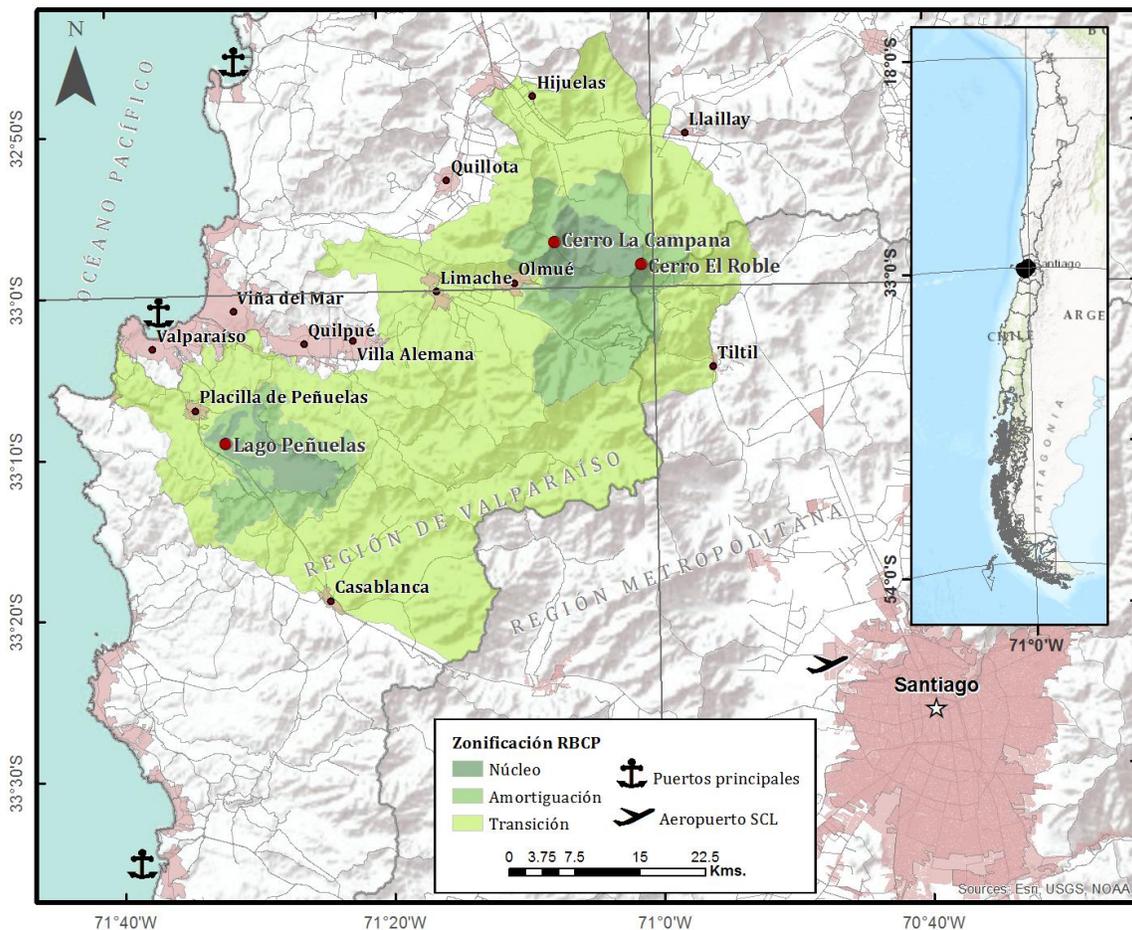
#### 1.3.1. Ubicación de la RBCP

La Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas posee una superficie de 240.766 ha., ubicada entre los 32°40'S – 33°30'S y entre los 71°45'W – 70°50'W. Según lo anterior, el área se encuentra en el flanco suroeste de Latinoamérica, en la zona central de Chile.



Mapa 1. Localización RBCP en contexto regional. Elaboración del autor.

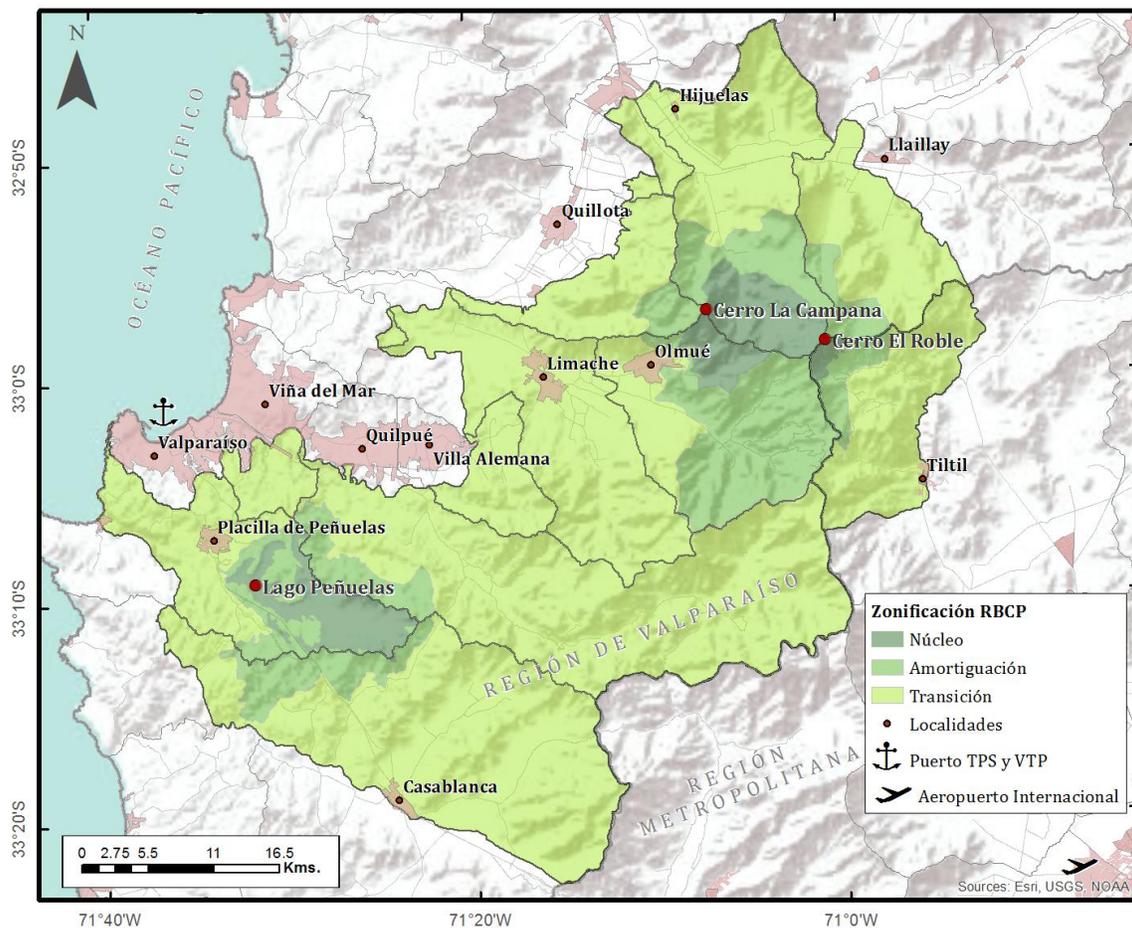
Su superficie se distribuye mayoritariamente en la Región de Valparaíso (97%), y una pequeña porción en la Región Metropolitana (3%) (Ver Mapa 1 y Mapa 2).



Mapa 2. Localización de la RBCP en el contexto regional. Elaboración del autor.

La RBCP contiene en su área al Parque Nacional La Campana, a la Reserva Nacional Lago Peñuelas y al Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble (ver Mapa 3). En Chile la menor división administrativa corresponde a la comuna. La RBCP abarca catorce de estas unidades (ver Mapa 3), estas son:

| COMUNA     | ÁREA RBCP (HA) | PORCENTAJE | COMUNA        | ÁREA RBCP (HA) | PORCENTAJE |
|------------|----------------|------------|---------------|----------------|------------|
| Quilpué    | 47,980         | 19.93      | Llaillay      | 14,716         | 6.11       |
| Casablanca | 44,005         | 18.28      | Quillota      | 10,701         | 4.44       |
| Hijuelas   | 26,740         | 11.11      | Villa Alemana | 6,168          | 2.56       |
| Limache    | 23,663         | 9.83       | Viña del Mar  | 3,981          | 1.65       |
| Olmué      | 23,041         | 9.57       | Calera        | 2,026          | 0.84       |
| Valparaíso | 20,553         | 8.54       | La Cruz       | 500            | 0.21       |
| Til Til    | 16,311         | 6.77       | Con cón       | 381            | 0.16       |



Mapa 3. Composición comunal de la RBCP. Elaboración del autor

De las mencionadas, Valparaíso, Casablanca, Limache, Olmué, Hijuelas y Til Til son las comunas que según los polígonos oficiales, contienen zonas urbanas y, minoritariamente las comunas de Viña del Mar, Quilpué y La Calera contienen una porción de la misma (ver Mapa 3). Según la concepción de la zonificación, las zonas urbanas se encuentran en su totalidad en la zona de transición. De oeste a este se distinguen cuatro unidades de relieve: Planicies litorales, Cordillera de la Costa, Valles transversales y Cordillera de los Andes.

### 1.3.2. Caracterización de la RBCP

La RBCP se emplaza en una zona mesomórfica o mediterránea, la cual se extiende aproximadamente entre los 32° y 37° S. Conforme al Plan de Gestión de la RBCP, el territorio comprendido por la

Reserva, debido a su latitud, se encuentra gran parte del año bajo el efecto del anticiclón subtropical del Pacífico Sur, en su margen oriental. “...El anticiclón del Pacífico posee gran estabilidad atmosférica y se desplaza hacia el norte en invierno y hacia el sur en verano, lo que influye en el comportamiento estacional de las masas de aire. Esta situación determina un macrobioclima mediterráneo (Luebert, F. y Pliscoff, P. 2006), con precipitaciones que se concentran durante la estación fría (invierno) y un período seco prolongado que coincide con las estaciones más cálidas (primavera y verano)...” (Gobierno Regional de Valparaíso, 2009).

Según señala Hauenstein et al. (2009), la RBCP posee un clima de tipo mediterráneo, que se clasifica según la metodología de Köppen como clima templado-cálido con humedad suficiente (Cfa, Csb) y, en la subdivisión de lluvias invernales y estación seca prolongada, caracterizada por periodos de lluvia regulares durante el invierno y una estación seca marcada, que puede extenderse entre seis y ocho meses, existiendo una correspondencia con otras áreas mediterráneas mundiales como California y Europa en el Hemisferio Norte, y Australia y sur de África en el Hemisferio Sur (Grau 1992, Arroyo et al. 1995 en Hauenstein et al., 2009). De acuerdo al plan de gestión de la Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas (Gobierno Regional de Valparaíso, 2009), el territorio chileno está representado en tres de los ocho reinos biogeográficos en que se ha dividido el planeta según la clasificación biogeográfica de Miklos Udvardy; estos son el Neotropical, el Oceánico y el Antártico. Gran parte del territorio chileno continental está comprendido en el reino Neotropical, al cual pertenece el territorio que ocupa la actual Reserva de Biosfera La Campana – Peñuelas. Dentro de este reino, el territorio de la reserva comprende la provincia biogeográfica denominada Vegetación Esclerófila Chilena.



*Imagen 1. Vista al Cerro La Campana exposición norte. Palmas chilenas (Jubaea chilensis). Fuente: Ministerio del Medio Ambiente 2015.*

En efecto, las características climáticas donde se inserta –zona central de Chile–, señala Hauenstein et al. (2009), condicionan que la vegetación de estas regiones posea características adaptativas especiales, como son, entre otras, la presencia de hojas esclerófilas, de lignotúber y de una gran capacidad de economía hídrica (Money y Kumerow 1971, Araya y Ávila 1981, Ávila et al. 1981 en Hauenstein et al., 2009). El autor destaca que la zona central de Chile es un foco de concentración de endemismos y de una alta riqueza y diversidad florística, con la presencia de 1.800 especies de plantas endémicas para esta área, lo que la ha llevado a ser considerada una de las 25 áreas *hotspots* mundiales, que requieren prioridad de protección (Myers et al. 2000 en Hauenstein et al., 2009).



*Imagen 2. Sector "Los Coipos", Lago Peñuelas. Árboles "Molle" (Schinus latifolius). Fuente: Altitud Cordada*

Señala la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2015), que el lugar es también un reducto de protección para la fauna típica de Chile central, que paulatinamente ha sido relegada a los sectores más inaccesibles de los cordones cordilleranos costeros y andinos. Ello incluye especies de "vertebrados carismáticos" como zorros, gatos güiña (Imagen 3) y colocolo, quiques y roedores como la vizcacha (Imagen 4), así como algunos anfibios y reptiles típicos (Imagen 5).



*Imagen 3. Gato huiña, güiña o gato colorado (Leopardus guigna). Fuente: Apuntes de Derecho Página Web*



*Imagen 4. Vizcacha (Lagidium viscacia). Fuente: Apuntes de Derecho Página Web*

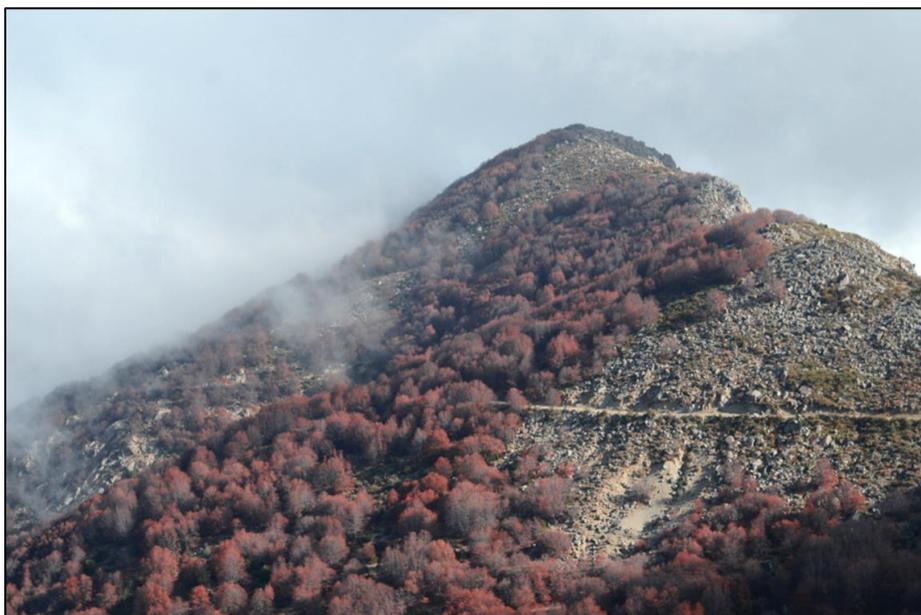


*Imagen 5. Lagartija esbelta o tenue (Liolaemus tenuis). Fuente: Constanzataes Página Web 2014*

En particular, la flora del Parque Nacional La Campana, creado en 1967, se compone de alrededor de 430 especies nativas, de las cuales más de la mitad corresponde a especies endémicas de Chile. Es considerado como un ícono en la conservación de la diversa biota de Chile Central, reconocida a nivel mundial por constituir un 'Centro de Diversidad de Plantas' y un *hotspot* de biodiversidad

(Davis et al. 1997 & Mittermeier et al. 2004, en Moreira-Muñoz & Salazar, 2014). Adicionalmente, contempla una enorme diversidad de insectos y artrópodos, muchos de ellos endémicos de Chile y de la cordillera de la Costa.

Por otro lado, en el caso de la Reserva Nacional Peñuelas, creada el año 1952, la vegetación se encuentra bastante más intervenida que en La Campana, debido a la presencia de amplios sectores de plantaciones de especies introducidas como pinos y eucaliptos (Moreira-Muñoz & Salazar, 2014). Sin embargo, la alta riqueza de especies herbáceas bulbosas como orquídeas, alstroemerias y otras como *Centaurea bulbosa*, justifica plenamente su calidad de zona núcleo de la RBCP (Hauenstein et al. 2009, en Moreira-Muñoz & Salazar, 2014). A las unidades núcleo mencionadas se agrega el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, constituido a partir del año 2001 para conservar los bosques de robles más septentrionales de Chile y de América del Sur (ver Imagen 6). Este esfuerzo privado, gracias al apoyo de varios organismos estatales, es una iniciativa señera en involucrar formalmente a agentes privados en acciones de conservación vinculadas al ecoturismo (Moreira-Muñoz & Salazar, 2014).



*Imagen 6. Robledal del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble. Fuente: LaderaSur*

En el prólogo del libro sobre el Parque de la Campana de Elórtogui-Francioli & Moreira-Muñoz (2002), Francesco Di Castri, reconocido ecólogo y académico italiano, con una trayectoria de 30 años en la UNESCO, afirma que “la Reserva de la Biósfera La Campana – Peñuelas es históricamente, en cierto sentido, la piedra filosofal que dio origen al concepto de Reservas de la Biósfera y de sus aplicaciones en el mundo” (Di Castri 2002:4 en Coppin & Morales, 2013). Son en efecto Coppin & Morales (2013), quienes señalan que el ecólogo ilustra su afirmación resaltando el extraordinario potencial que ofrece la RBCP:

- Representa casi todos los ecosistemas que existen en Chile,
- Ofrece una gran riqueza de su biodiversidad,
- Ha sido el escenario del programa de investigación de mayor aliento y duración en Chile sobre ecología comparada entre California y Chile,
- Se ubica entre las dos regiones más urbanizadas de Chile – Santiago y Valparaíso – con un gran atractivo para educación ambiental y turismo de naturaleza.

Respecto al último punto señalado, el Plan de Gestión de la RBCP (Gobierno Regional de Valparaíso, 2009), señala que la naturaleza e intensidad del impacto humano a la que es sometida esta ecorregión en Chile no difiere demasiado de lo que ocurre en otras partes del planeta en donde prevalece el clima mediterráneo. Destacan que, “...en el caso particular de Chile, siendo la zona Central la parte del territorio más poblada del país, que alberga el 79,5% de la población total - 12.020.858 de habitantes- (INE, Censo 2002) es a la vez la zona menos representada dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas de Chile (475.313 ha) equivalente a menos del 4% del total de la superficie de Chile bajo protección oficial...”.

#### 1.3.2.1. Situación sociodemográfica

Según lo argumentado con anterioridad, el área de estudio contempla 14 comunas de interés, en contraposición a las 11 que plantea el plan de gestión. Del total de comunas, solo tres, Casablanca,

Limache y Olmué, consideran sus áreas urbanas dentro de la RBCP. Igualmente, la comuna de Valparaíso incluye dentro de sus límites político-administrativos la localidad de Placilla de Peñuelas, en conjunto al sector de Curauma, una de las zonas que más experimenta crecimiento urbano.

Según los registros censales 1982, 1992, 2002 y 2012, el comportamiento poblacional se comportó de la siguiente manera (Ver Gráfico 1):

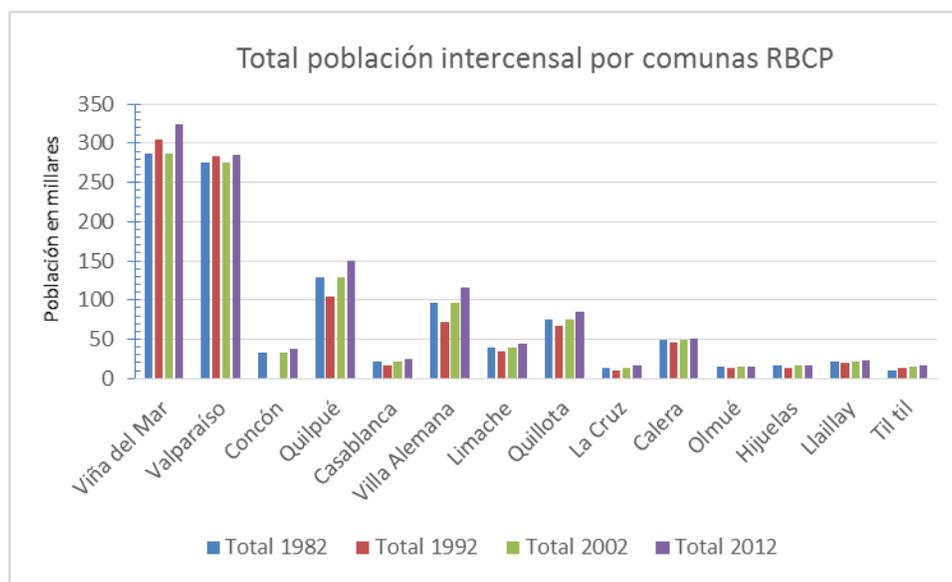


Gráfico 1: Total población intercensal por comunas intersectadas por la RBCP. Elaboración del autor fundado en bases de datos censales públicas

Es posible identificar a las comunas de Viña del Mar y Valparaíso, como las que contienen mayor población, por sobre los 270.000 habitantes promedio. En total, las comunas en cuestión suman 1.080.925, 997.679, 1.085.268 y 1.204.004 para los censos 1982, 1992, 2002 y 2012, respectivamente. La comuna que presentó mayor variación porcentual entre el año 1982 y el 2012 fue Til til con un 36%, sobre un 12% promedio total. Sin embargo, en términos absolutos, la población va desde 10.412 a 16.297 habitantes (ver Gráfico 2).

Importante es destacar, que en el área circundante, se encuentran los 3 puertos importantes de la zona central, y junto a ello, el aeropuerto internacional Arturo Merino Benitez (SCL). Razón por la cual, se debe considerar una alta presión de población flotante y movimiento de mercancías.

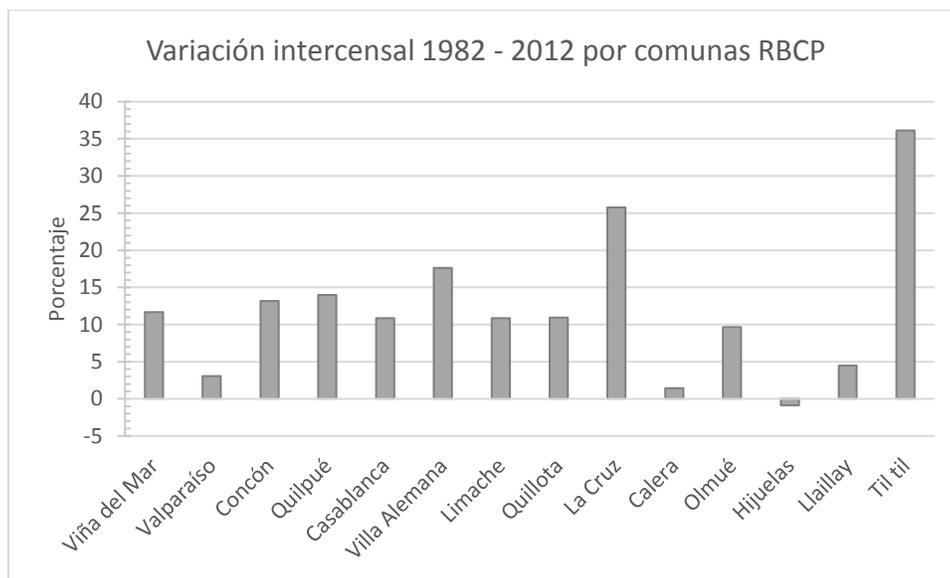


Gráfico 2: Variación intercensal 1982 - 2012 por comunas RBCP. Elaboración del autor fundado en bases de datos censales públicas

#### 1.3.2.2. Contexto económico

El área de la RBCP responde a características mayoritariamente rurales, representado en un 93% dentro de la Región de Valparaíso. Para dicho territorio, la encuesta CASEN 2009 (Caracterización Socioeconómica Nacional del Ministerio de Desarrollo Social), estipula que la principal rama de actividad económica de la región en zona rural es la agricultura, caza y silvicultura, en conjunto a los Servicios Comunales Sociales (Ver Gráfico 3). A pesar de lo anterior, estos datos no representan nivel de afectación al suelo, ya que aquellas dinámicas mineras y energéticas son las que mayormente intervienen el suelo, y son las con menor representación porcentual, hecho que amerita situarse en una investigación dedicada.

Según se indica en el catastro levantado en el marco del plan de gestión de la RBCP, la actividad económica presente en la Reserva integra diferentes empresas, las cuales se caracterizan por poseer diferentes proporciones y variedad de rubros. Así, es posible encontrar desde ferias artesanales y pequeños productores agrícolas, pasando por actividades frutícolas, ganaderas, forestales, inmobiliarias y turísticas, hasta grandes empresas en las que se llevan a cabo distintas actividades, dependiendo de los intereses propios de cada empresario, y de la comuna en que estos se encuentren, aprovechando, evidentemente, las potencialidades que ofrece el territorio.

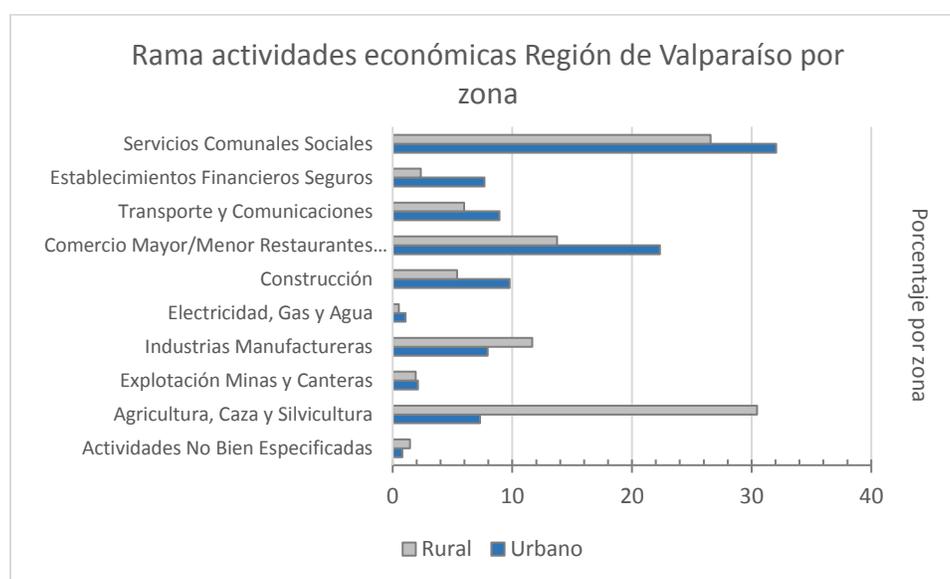


Gráfico 3: Porcentaje de presencia rural de actividad económica por rama en la Región de Valparaíso. Elaboración del autor fundado en bases de datos censales públicas

En el trabajo aludido se ubica e identifica las actividades económicas, tanto por el lugar donde estas se desarrollan, en el contexto de la zonificación de la Reserva de la Biosfera La Campana – Peñuelas, como así también por el tamaño que poseen los actores económicos, a saber: grandes, medianas y pequeñas empresas. Lo anterior posibilita conocer los principales usos que los agentes económicos están brindando al territorio, en cada una de sus zonas, (zonas de amortiguación y transición

principalmente), como así también entrega información acerca de la magnitud y características que poseen los actores que son responsables de las intervenciones que se verifican en el territorio.

#### 1.4. Problematización de los instrumentos de ordenamiento territorial competentes

Desde su génesis, la ordenación del territorio se perfila como una disciplina que considera a la planificación que integra lo ambiental con el uso que se haga del territorio (Ministerio de Planificación, 2004), perspectiva propicia para la promoción de las Reservas de la Biosfera como unidades de interés del ordenamiento territorial. Sin embargo, Chile carece de una ley marco de ordenamiento territorial, donde la inexistencia de una legislación específica y explícita respecto a la ordenación del territorio, ha llevado a que la única excepción que podría considerarse como tal es la Ley general de Urbanismo y Construcciones (Roca, 2010).

En efecto, señalan Calcagni & Strappa (2011) que la legislación vigente establece que la planificación territorial le corresponde a los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT), los cuales se encuentran definidos en la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) y contribuyen a dar coherencia a la organización física de las actividades del territorio en función de las políticas nacionales, regionales y comunales. A pesar de lo genérico de la anterior afirmación, se excluye cualquier intención que oriente por ejemplo, a por proteger la biodiversidad, alentar la creación de capacidades en materia de gestión, promover la sustentabilidad del medio ambiente o, fortalecer vínculos entre la diversidad cultural y la diversidad biológica, ejes mencionados con anterioridad sobre los cuales el programa MAB intenta actuar.

De acuerdo a ello, en Chile no se ha incorporado expresamente la categoría de reserva de la biosfera en su orden jurídico, apostando por la estrategia de implementar reservas de la biosfera articulando instrumentos existentes (Bonnin & Velut, 2008). Los instrumentos de planificación más utilizados en el contexto de las reservas de la biosfera han sido los Planes Reguladores Comunales e

Intercomunales, aunque la incorporación explícita de la dimensión ambiental y la participación ciudadana efectiva en la elaboración de dichos planes han sido muy tímidas (Moreira-Muñoz & Salazar, 2014).

Por regla general, y en particular en Chile, sólo las zonas núcleo son territorios jurídicamente constituidos, mientras que la figura de Reserva de la Biosfera representa un **marco de acción no vinculante**. Lo anterior se traduce en que cada territorio sujeto a esta “etiqueta de marketing territorial”, debe desarrollar un trabajo de adaptación particular a cada contexto. Siguiendo lo señalado por Bonnin & Velut (2008), esta adaptación se puede ejecutar ya sea transfiriendo el concepto en la legislación nacional y/o articulando de manera flexible los instrumentos existentes, sin olvidar que se exige la instauración de un **plan de gestión de Reserva de la Biosfera**, lo que relaciona la figura de las reservas de la biosfera con el ordenamiento del territorio rural.

En efecto, los autores indican que, al asociar las superficies protegidas y su entorno, se trata de un dispositivo coherente con las recomendaciones de la Convención de Río sobre la diversidad biológica. Sin embargo, según los aportes de Fuenzalida et al. (2013), los avances realizados en torno a la mejora de los instrumentos de planificación estos últimos años en los territorios comprendidos en la RBCP, han sido pocos y, a veces, hasta contraproducentes. Los territorios rurales representan una deuda histórica del país, y es en este marco donde persiste la falta de una política clara de desarrollo rural, en conjunto con una mayor flexibilidad a nivel de los instrumentos de ordenamiento, situación que ha hecho aún más evidente la inexistencia de una visión integral de gestión y desarrollo del territorio. Basta con destacar que los mismos municipios en áreas rurales no tienen mayor injerencia en temas de ordenación territorial propia (Coppin & Morales, 2013).

Alineado con lo anterior, se debe hacer patente que en el contexto nacional, hasta el 2014 –año en que se elabora una Política Nacional de Desarrollo Rural con proyección al 2024–, el territorio rural

se definía por omisión como “lo no urbano”. Desde entonces, se ha elevado un intento por redefinir el concepto y el enfoque, para dar paso a un nuevo paradigma de lo rural que se aleje del estereotipo agricultor e incorpore características de otra índole (Comité técnico interministerial, 2014). La nueva política declara que se articula en torno a cinco ámbitos: Bienestar Social de la Población; Oportunidades Económicas; Sustentabilidad Medio Ambiental; Cultura e Identidad y Gobernabilidad de la Política de Desarrollo Rural. A pesar de ello, la moción se desprende de un diagnóstico basado en dinámicas mercantiles, donde se señala que “...diversos espacios rurales enfrentan desafíos comunes: la lejanía a los grandes mercados y centros internacionales; la migración de la población hacia centros urbanos; la falta de masa crítica para beneficiarse de las economías de escala; los nuevos patrones de producción y comercialización para las materias primas; al menor suministro de servicios públicos respecto a los centros urbanos; la falta de diversificación económica y la débil valoración del patrimonio cultural y natural...”.

El nuevo paradigma rural adoptado que se intenta imponer, considera la sustentabilidad ambiental como un factor constitutivo indisoluble del bienestar de la sociedad y del desarrollo rural. En tal sentido, la política señala de manera explícita que **reconoce y valora la calidad y el potencial de los activos naturales y los ecosistemas**, promoviendo su resguardo y gestión dentro de los límites de su funcionamiento, y asume la gestión de los pasivos ambientales de los territorios rurales (Comité técnico interministerial, 2014). En esto se deja en evidencia una omisión premeditada de los avances científicos contemporáneos en materia ambiental, dejando entrever una clara descontextualización respecto a la relación entre el estado actual de los ecosistemas planetarios y la economía neoclásica, intentando contabilizar elementos de índole ambiental que por naturaleza no poseen valor monetario.

En la actualidad, son los planes reguladores intercomunales aquellos instrumentos de planificación que poseen un valor normativo para los territorios rurales. En el caso que dicho instrumento exista,

señalan Bonnin & Velut (2008), es el único documento que regula el uso del suelo fuera del límite urbano. A pesar de dicha característica, el documento posee carácter urbano, concebido para planificar el crecimiento y no para gestionar el espacio rural. En el caso de la extensión de la Reserva La Campana-Peñuelas en el año 2009, el área está cubierta parcialmente por los planes intercomunales de Quillota y Valparaíso, que se establecieron antes de la propuesta de extensión. Sin embargo, estos instrumentos de planificación conllevan problemas de compatibilidad de uso de suelo respecto a los objetivos planteados en el plan de gestión de la RBCP. Existe una superposición de finalidades territoriales entre intenciones de conservación frente a áreas de extensión urbana, de implantación de centros de servicios y actividades, construcción de infraestructuras pesadas, entre otras (Bonnin & Velut, 2008).

En particular, Fuenzalida et al. (2013) indica que la zona de extensión de la RBCP comparte el diagnóstico realizado para las reservas de la biosfera en Iberoamérica por la UNESCO en el 2007. Las zonas definidas como “amortiguación”, también conocida como “tampón” o “transición”, corresponden principalmente a tierras privadas con muy diferentes tipos e intensidades de uso, y donde además se ha constatado que hay una fuerte correlación entre pobreza y mal aprovechamiento de los recursos naturales. Frente a lo anterior, acompañado de la falta de una política de desarrollo rural clara, una definición de ruralidad desacompasada, ausencia de una ley marco de ordenamiento territorial, superposición de intereses socioterritoriales y socioambientales, se suma que la entidad a cargo de la gestión de las Reservas de la Biosfera en Chile, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), es completamente incapaz de cumplir dicho rol más allá de las áreas protegidas por el estado. Ante ello, se genera un comité de gestión establecido por el Intendente, vulnerable a las oscilaciones políticas y económicas del país.

#### 1.4.1. Sobre el plan de gestión de la RBCP

Una reserva de biosfera es una organización de espacio destinada a alcanzar una meta o metas ambientales, pero también es una designación burocrática dada por la UNESCO. En este sentido, es importante reconocer que la designación no es suficiente para efectuar la aplicación (Walker & Solecki, 1999).

El año 2009 la RBCP se expande en aproximadamente 14 veces de su extensión original. Unesco valida y reconoce dicho crecimiento, el cual se acompaña de un plan de gestión elaborado en octubre del mismo año. En el documento, se estipula la participación de ciertas figuras políticas y económicas, las cuales son ratificadas posteriormente en la resolución exenta n°4/2924 de la Intendencia Región de Valparaíso (2011), donde señala que el comité de gestión de la RBCP se estructura de la siguiente manera:

- Sr. Gobernador Provincial de Marga Marga (Presidente)
- Sra. Alcaldesa de la I. Municipalidad de Hijuelas
- Sr. Alcalde de la I. Municipalidad de Casablanca
- Sr. Alcalde de la I. Municipalidad de Olmué
- Cámara Regional del Comercio y la Producción
- Asociación de Empresas V Región
- Asociación de Agricultores de la Provincia de Quillota
- El Presidente de la Cámara de Comercio y de la Producción Regional
- El Presidente de la Asociación de Agricultores de Quillota
- El Presidente de la Asociación de Empresarios Vitivinícolas de Casablanca
- El Director Regional del Servicio de Turismo Región de Valparaíso
- El Director Regional de Vialidad, Región de Valparaíso
- El Director del Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Valparaíso

- El Director Regional del Instituto de Desarrollo Agropecuario, Región de Valparaíso
- El Director Regional de la Corporación Nacional Forestal
- El Presidente de la Comisión de Ordenamiento Territorial del CORE
- El Director de la carrera de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Frente a la mencionada organización interna, es patente la problemática de la participación de los municipios y actores de la sociedad civil. Siguiendo a los citados anteriormente Bonnin & Velut (2008), esta problemática representa una de las exigencias de la UNESCO, siendo un tema estratégico para hacer efectiva la gestión de las reservas de la biosfera. La composición legal de la comisión incluye a tres alcaldes por sobre las catorce comunas participantes. El total de los participantes representan a la región con mayor presencia en la RBCP, dejando de lado a la comuna de Til Til, la cual depende de otra región político-administrativa. Los actores incluidos poseen un carácter que se orienta a salvaguardar intereses económicos, excluyendo en su totalidad a aquellas organizaciones sociales, ambientalistas y comunitarias. La participación de los servicios públicos y de las autoridades municipales en la preparación de los expedientes para la UNESCO y las reuniones con grupos selectos de habitantes no puede reemplazar la participación amplia que se espera en la gestión de la reserva. En el caso de regiones densamente pobladas, como la región de Valparaíso, donde coexisten un gran número de individuos, grupos, empresas, intereses, y fuertes presiones de uso de los recursos naturales y de cambios de usos del suelo, este tema se vuelve crucial para el éxito de la reserva (Bonnin & Velut, 2008).

El Plan de Gestión se elabora en el contexto de la Estrategia de Sevilla, la cual establece los siguientes objetivos:

- a. Utilizar las Reservas de la Biosfera (RB) para la conservación de la diversidad biológica natural y cultural

- i) Mejorar la cobertura de la diversidad natural y cultural
  - ii) Integrar las Reservas de Biosfera en el planeamiento de la conservación
- b.** Utilizar las RB como modelo en la ordenación del territorio y lugares de experimentación del desarrollo sostenible
  - i) Conseguir el apoyo y la participación de las poblaciones locales
  - ii) Lograr un ajuste armonioso entre las distintas zonas de la reserva y sus interacciones
  - iii) Integrar las RB en el planeamiento regional
- c.** Utilizar las Reservas de Biosfera para la investigación, la observación permanente, la educación y la capacitación
  - i) Ampliar el conocimiento de las interacciones entre los seres humanos y la biosfera
  - ii) Mejorar las actividades de observación permanente
  - iii) Fomentar la educación, la conciencia pública y la participación
  - iv) Mejorar la formación de especialistas y administradores
- d.** Aplicar el concepto de Reserva de Biosfera
  - i) Integrar las funciones de las Reservas de Biosfera
  - ii) Fortalecer la Red Mundial de Reservas de Biosfera

El documento, establece un método de formulación de objetivos específicos de acuerdo a los problemas y desafíos identificados. De esta forma, cada objetivo planteado es acompañado de una o más líneas de acción y actividades para abordar los lineamientos. Catorce objetivos según se señala a continuación:

1. Promover la realización de actividades productivas y servicios ambientales asociados, de manera sustentable en el territorio de la RB
  - a. Propender a la máxima reducción de las actividades contaminantes o degradadoras del medio ambiente

- (1) Identificar y caracterizar los procesos contaminantes en las actividades productivas en los territorios que conforman la RB.
- (2) Elaborar y ejecutar una estrategia para la máxima reducción de procesos contaminantes y la extracción no sustentable y/o ilegal de recursos naturales.
- (3) Elaborar y ejecutar una estrategia para disminuir la presión de las actividades urbanas sobre el hábitat de las especies de flora y fauna endémica y/o con problemas de conservación.
- (4) Formular y ejecutar un plan de protección específico contra incendios forestales para todo el territorio de la RB.
- (5) Elaborar y ejecutar una estrategia para impedir el ingreso ilegal de ganado a las zonas núcleo de la RB y de otras acciones degradadoras.
- (6) Verificar la existencia de vertederos en el territorio de la RB y desarrollar acciones con los municipios, que permitan llevar a cabo los planes de cierre de estos.
- (7) Verificar la existencia de basurales en el territorio de la RB. y desarrollar acciones permanentes con los municipios que permitan su erradicación.
- (8) Promover medidas para eliminar o reducir la erosión de los suelos, producto de malas prácticas de uso de estos.
- (9) Realizar acciones de información para la prevención y control para evitar la contaminación de aire, suelos y aguas con agroquímicos, por mal manejo del guano como fertilizante y debido a la quema de residuos, entre otros.

- b. Elaborar instrumentos de gestión para las RB que permitan tomar en consideración la vulnerabilidad socio-ecológica

- (1) Desarrollar un método de apoyo a la gestión de las funciones y servicios ambientales, en el contexto de zonas urbanas vinculadas a las RB de *Fontainebleau* (Francia) y La Campana – Peñuelas (Chile).
2. Institucionalizar la planificación y gestión de la RB
  - a. Identificar áreas temáticas sujetas a la planificación de la RB
    - (1) Recopilación de las principales actividades productivas existentes en la RB.
    - (2) Categorizar las actividades más relevantes en términos del impacto económico, ambiental y social
  - b. Generación de un modelo institucional
    - (1) Recopilar experiencias institucionales de RB. de similares condiciones en otros países
    - (2) Proponer un esquema institucional específico para la gestión de la RB, en el marco de la normativa legal vigente
3. Potenciar la difusión de los instrumentos de gestión e inversión susceptibles de ser aplicados en la RB
  - a. Identificar los instrumentos existentes con los principales organismos públicos y privados
    - (1) Categorizar los instrumentos productivos relevante acordes con las principales actividades que tienen lugar en el territorio
4. Promover la incorporación de criterios de sustentabilidad, ambiental y social para productos y/o servicios en la RB
  - a. Identificar los instrumentos existentes con los principales organismos públicos y privados

- (1) Realizar jornadas de difusión de los instrumentos de fomento productivo a las asociaciones de productores de los principales bienes y servicios generados en la RB.
5. Crear, desarrollar y difundir la marca como sello distintivo
  - a. Definir la propuesta de valor de la marca, considerando materias como sustentabilidad ambiental y social
    - (1) Estudio de una marca para su uso en productos y servicios generados en la RB.
    - (2) Identificar normas de calidad, para la generación de productos y servicios, que sean pertinentes al territorio de la RB.
    - (3) Analizar la aplicabilidad de las normas de calidad existentes en Chile, evaluando el interés de productores en su adopción y, eventualmente, efectuar las adecuaciones necesarias para ello.
  - b. Fijar criterios y/o condiciones para el uso y aplicación de la marca
    - (1) Definir procedimientos específicos para uso de la marca (contrato), análisis de solicitudes, otorgamiento de certificaciones y evaluación de cumplimiento de normas
  - c. Crear plan de difusión de la marca
    - (1) Gestionar recursos para un programa de difusión de la marca y su posterior implementación
6. Poner en valor los atractivos naturales y culturales de la RB
  - a. Realizar un catastro, a partir de la información existente, de los recursos turísticos, naturales y culturales de la RB y su posterior jerarquización (ficha OMT)

- (1) Catastro de recursos turísticos naturales que incluyan los sitios prioritarios de conservación de las zonas de interés turístico, centros de interés turísticos y los sitios con potencial de atractivo natural.
  - (2) Catastro de recursos culturales de la R. B. (tradiciones, festividades, etc.)
  - (3) Jerarquización de los recursos turísticos (naturales y culturales) desde la perspectiva de los mercados.
- b. Realizar talleres de sensibilización con la comunidad, especialmente en lugares en donde se desarrollen iniciativas turísticas
- (1) Realización de acciones de sensibilización sobre la importancia del turismo responsable, dirigidas a la comunidad
  - (2) Realizar talleres de sensibilización en los organismos públicos (municipalidades, servicios, etc)
  - (3) Identificar (poner en valor) los elementos culturales e históricos que refuercen el vínculo de pertenencia entre la comunidad, actores público-privado con RB
7. Generar condiciones para el desarrollo turístico sustentable en la RB
- a. Desarrollo de productos asociados a la RB
- (1) Formulación del plan de desarrollo y de marketing turístico de la RB, geo-referenciado. (incluye actualizar el catastro de la infraestructura turística existente en la R.B.)
- b. Promoción de la RB en los mercados relevantes
- (1) Dar a conocer la RB en los mercados nacionales e internacionales, particularmente en ferias turísticas

- c. Incentivar la formulación de los planes de turismo y las Ordenanzas Municipales respectivas
  - (1) Formación de la Red de Turismo Municipal de la RB
- 8. Fomentar el desarrollo de la planta e infraestructura turística
  - a. Promoción de los instrumentos de fomento productivo para inversión
    - (1) Incentivar la instalación de programas de fomento productivo en el territorio, enfatizando las oportunidades para la inversión turística
  - b. Promover el trabajo coordinado con los servicios públicos para la RB
    - (1) Identificar las necesidades prioritarias de infraestructura pública, referida al turismo, formular los proyectos pertinentes y promover su ejecución.
- 9. Promover la asociatividad de los actores relevantes
  - a. Identificación de áreas (territoriales) de desarrollo turístico dentro de la RB y promover la asociatividad entre los actores
    - (1) Creación y mantención de una red público privada en turismo en la RB.
    - (2) Promover la generación de alianzas estratégicas entre actores de diversa índole.
- 10. Difundir las reservas de la biosfera como modelo de gestión y la importancia de su aplicación en este territorio
  - a. Elaborar una estrategia de difusión, estableciendo objetivos y metas de corto, mediano y largo plazo
    - (1) Definir públicos a los que será dirigido el mensaje
    - (2) Definir estrategia a utilizar con cada uno de ellos
    - (3) Levantamiento de información.
    - (4) Definición de Ideas Fuerza.

- (5) Diferenciación de los mensajes para los distintos públicos.
- (6) Definición de vocerías
- (7) Hacer un listado de los medios de comunicación públicos e institucionales a vincular
- (8) Definición de hitos comunicacionales a enfatizar
- (9) Inicio de la campaña de difusión de la RB.
- (10) Definición de productos de marketing a desarrollar.
- (11) Búsqueda de auspiciadores para desarrollar el plan de marketing
- (12) Diseñar e implementar un programa de incentivos para el reconocimiento de acciones de personas e instituciones, en pro de la RB.
- (13) Elaboración y aplicación de un modelo que permita la evaluación del cumplimiento del objetivo que considere cada una de las etapas (ex ante, ex dure, ex post), para el mejoramiento continuo.

11. Desarrollar un programa de educación sobre la RB La Campana-Peñuelas, como modelo de gestión territorial

a. Diseño de programas educativos en establecimientos educacionales

- (1) Diseño de material divulgativo y educativo y búsqueda de financiamiento
- (2) Realización de jornadas de orientación a los profesores acerca de la RB como modelo de gestión territorial, asociando una escuela, como experiencia piloto en esta materia
- (3) Elaboración y aplicación un modelo que permita la evaluación del cumplimiento del objetivo, que considere cada una de las etapas (ex ante, ex dure, ex post), para el mejoramiento continuo

b. Realización de talleres de capacitación a personal de los servicios públicos

- (1) Diseño, preparación y ejecución de talleres, charlas y material anexo para personal de servicios público.
    - (2) Elaboración y aplicación un modelo que permita la evaluación del cumplimiento del objetivo, que considere cada una de las etapas (ex ante, ex dure, ex post), para el mejoramiento continuo.
  - c. Diseño y ejecución de programas educacionales para actores no escolares
    - (1) Definición de públicos objetivos para actores no escolares
    - (2) Diseño, preparación y ejecución de talleres, charlas y material anexo
    - (3) Elaboración y aplicación un modelo que permita la evaluación del cumplimiento del objetivo, que considere cada una de las etapas (ex ante, ex dure, ex post), para el mejoramiento continuo
12. Promover la investigación científico tecnológica e incentivar la transferencia y aplicación de tecnologías para el desarrollo sustentable de la RB
  - a. Desarrollo de ciencias asociadas al territorio de la RB
    - (1) Promover la generación de una entidad inter universitaria, que asuma la investigación científica y tecnológica, con énfasis en el desarrollo sustentable, de la RB.
  - b. Investigación, desarrollo y transferencia de nuevas tecnologías asociadas al territorio de la RB
    - (1) Buscar financiamiento nacional e internacional para la investigación científica y tecnológica de la RB.
13. Valorizar los recursos territoriales y socio culturales del territorio de la RB
  - a. Recabar y editar antecedentes de los recursos socio culturales del territorio RB

- (1) Construir un mapa de valor de los recursos socioculturales y ambientales del territorio de la RB
- (2) Actualizar periódicamente el mapa de valor

14. Incrementar y fortalecer la cultura, como así también la actitud ética de la población, en la perspectiva del desarrollo sustentable

- a. Promover la política nacional de educación para el desarrollo sustentable, en el territorio de la RB
  - (1) Elaborar y ejecutar un plan piloto de educación para el desarrollo sustentable del territorio de la RB.
  - (2) Incrementar y actualizar información científico-tecnológica del territorio de la RB.
  - (3) Difundir a la comunidad los resultados de estas acciones
  - (4) Evaluación periódica de las actividades precedentes, creando instrumentos de medición con indicadores específicos.

## 2. Capítulo II. Uso de suelo: Nociones, perspectivas de análisis y metodología

### 2.1. Fundamentos generales

El uso de suelo en el concepto general, se refiere al uso de la tierra en la situación existente que incluye todos los usos del suelo en diversos sectores de la agricultura, los recursos naturales y la industria. En otras palabras, éstas incluyen actividades agrícolas (lluviosas e irrigadas), áreas residenciales, bosques, pastos y mineras e instalaciones industriales (Ahmadi 1995 en Mirzaei, Solgi, & Salmanmahiny, 2016). Como señalan Reyes Hernández, Aguilar Robledo, Aguirre Ribera, & Trejo Vázquez (2006), la cobertura del suelo se define como la cubierta biofísica observada sobre la superficie terrestre; mientras que el uso del suelo se caracteriza por el arreglo, actividad y producción que hace la gente en un cierto tipo de cubierta para producir, cambiar o mantener esta cobertura del suelo.

El cambio de uso de suelo y cambio de cobertura del suelo, son una compleja y dinámica combinación de factores que interactúan continuamente bajo la influencia de las actividades humanas (Vitousek et al., 1997, Le et al., 2008 en Hosseinali, Alesheikh, & Nourian, 2014). Igualmente, los cambios mencionados son igualmente causados por la interacción entre sistemas naturales y sociales a diferentes escalas espaciales (Rindfuss et al., 2004, Valbuena et al., 2008 en Hosseinali et al., 2014; Hasegawa, Fujimori, Ito, Takahashi, & Masui, 2016). En las últimas décadas, el cambio del uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global y uno de los problemas más importantes en el mundo (Mirzaei et al., 2016; Abuelaish & Olmedo, 2016). De esta forma, los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997 en Pineda Jaimes et al., 2009).

El enfoque de la Biosfera para conservar los recursos biológicos, resiste la dicotomía espuria entre los reinos humano y natural. En la lógica de las **islas biogeográficas**, la reserva de la biosfera posee una orientación espacial de la gestión ambiental en el que recursos ecológicos, que constituyen un núcleo de preservación, están protegidos por amortiguadores de tierras circundantes organizadas en un gradiente de intensidad creciente de uso humano (Walker & Solecki, 1999). En la actualidad, entre los diversos procesos espaciales que surgen como resultado y remanente de la economía globalizada, se presenta uno de los aspectos que posee alta incidencia en la organización espacial, el cual guarda relación con la creciente valorización de aquellos territorios, cuyos recursos y productos cuentan con una alta demanda en el mercado mundial. Chile no es una excepción a esta dinámica ya que desde mediados de la década de los años 70 del siglo recién pasado, el modelo económico ha cambiado en forma decisiva (Soto Bäuerle, Arriagada González, Castro Correa, Maerker, & Rodolfi, 2011).

### 2.1.2. Lo urbano como elemento central

La urbanización es la forma más severa de cambio de uso de suelo, pues influye profundamente en la biodiversidad, los procesos ecológicos y los servicios de los ecosistemas (Grimm et al., 2008, Tian et al., 2011 en Hosseinali et al., 2014; Tepox et al., 2016). En efecto, las expansiones urbanas en áreas naturales alteran profundamente los flujos de agua, energía y materiales, produciendo efectos ambientales indirectos sustanciales, más allá del límite urbano (Douglas, 1994 en Walker & Solecki, 1999). Las invasiones agrícolas y urbanas, ya sean de conversión directa o de modificación de la cobertura del suelo, implican uso de la tierra, utilización directa de los recursos, competencia por recursos y contaminación, todos estos impactos identificados como amenazas ecológicas (Walker & Solecki, 1999). Importante destacar que, en los países en desarrollo, la expansión urbana se agrava por la falta de planificación del uso de la tierra (Jat et al. 2008; Bayramoglu and Gundogmus 2008; Han et al. 2009; Biggs et al. 2010; Lee and Choe 2011 en Abuelaish & Olmedo, 2016).

A partir de lo anterior, se debe tener en cuenta, según señalan Tepox et al. (2016), que el crecimiento de las ciudades es un proceso territorial y socioeconómico que conduce al cambio irreversible de los usos de suelo. En áreas donde anteriormente predominaba la cobertura vegetal, se desarrollaron actividades agropecuarias, habitacionales o industriales que ocasionaron cambios de los usos de los suelos y transformaciones significativas del entorno (Pickett et al., 2001; Weber y Puissant, 2003; Kinzig et al., 2005; Gong et al., 2011 en Tepox et al., 2016; Du, Li, Cao, Luo, & Zhang, 2010).

En ese sentido, estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), predicen un crecimiento urbano continuo. En tanto que la urbanización a nivel mundial en el año 2011 fue de 52%, se prevé que para el 2030 sea del 59%, y para el 2050 se incremente hasta un 67%; es decir: se espera que la población urbana alcance los 6.3 billones de habitantes (Heilig, 2012 en Tepox et al., 2016). Es en este contexto donde el conocimiento del espacio geográfico es necesario para la planeación del uso de la tierra y para el ordenamiento del territorio (Tricart y Kilian, 1982 en García-Gil, March-Mifsut, & Castillo-Santiago, 2001). En el caso específico de las áreas destinadas a la conservación de los recursos naturales, los estudios geográficos y cartográficos permiten reconocer el espacio con distintos niveles de aproximación y detalle, para lo cual es necesario hacer uso de diferentes escalas y herramientas, a fin de construir modelos cartográficos (García, 1998 en García-Gil, March-Mifsut, & Castillo-Santiago, 2001).

## 2.2. Metodología y procesos

Según Singh (1989) citado por Abd El-Kawy, Rød, Ismail, & Suliman (2011), la detección de cambios es el proceso de identificar diferencias en el estado de una característica o fenómeno observándolo en momentos diferentes. La detección del cambio es útil en muchas aplicaciones relacionadas con los cambios en el uso de la tierra y la cubierta del suelo (LULC, por sus siglas en inglés), tales como cambio de cultivo y cambios en el paisaje, degradación de las tierras y desertificación, cambios

costeros y expansión urbana, cambio de patrón de paisaje urbano, deforestación, actividades extractivas, y la fragmentación del paisaje y hábitat y otros cambios acumulados.

La información continua, histórica y precisa sobre los cambios LULC de la superficie de la Tierra es extremadamente importante para cualquier tipo de programa de desarrollo sostenible, en el cual LULC es uno de los principales criterios de entrada. Así, el análisis y la cartografía tanto de la actual situación como los cambios en el uso y cobertura del suelo, se reconoce como importante para comprender mejor y proporcionar soluciones orientadas a resolver problemas sociales, económicos y ambientales (Das, 2009; Lu, Mausel, Brondizio, & Moran, 2004; Pelorosso, Leone, & Boccia, 2009) (Abd El-Kawy et al., 2011).

En la actualidad existen numerosos programas de satélite en funcionamiento. Para los estudios de detección de cambios, el programa Landsat presenta una característica particular, debido a que proporciona un registro histórico y continuo de imágenes. Las imágenes Landsat pueden ser procesadas para representar la cubierta de la tierra sobre áreas extensas y sobre largos períodos de tiempo, que es único e absolutamente indispensable para la supervisión, la cartografía, y la gestión de LULC (Wulder et al., 2008 en Abd El-Kawy et al., 2011; Maimaitijiang, Ghulam, Sandoval, & Maimaitiyiming, 2015)

La teledetección es muy útil como técnica para lograr los datos necesarios para analizar y monitorear los cambios en el uso de la tierra, la planificación urbana, la expansión urbana y otros problemas ambientales (Abuelaish & Olmedo, 2016). Dos enfoques para identificar cambio de uso y cobertura de suelo, se han implementado principalmente con series de tiempo de imágenes de detección remota: 1) continua y 2) discreta. La incorporación de un enfoque de datos más continuo para detectar cambios en el uso y cobertura de suelo, implica evaluar medidas continuas derivadas de satélites de la cobertura o estado de la superficie terrestre tales como índices espectrales o

estimaciones de cobertura fraccional, mientras que enfoques discretos implican clasificar cada imagen de las series temporales y luego determinar el cambio desde Procedimientos de comparación después de la clasificación (Shih, Stow, Weeks, & Coulter, 2015). Desde un enfoque discreto, se han contemplado cuatro etapas metodológicas para alcanzar el objetivo principal de este trabajo: (1) Insumos: obtención de imágenes Landsat y digitalización de información espacial, (2) Definición e identificación de categorías de uso de suelo, (3) Tratamiento de imágenes y agrupación de la información y (4) Análisis de resultados.

#### 2.2.1. Insumos: obtención de imágenes Landsat y digitalización de información espacial

Se establece un marco temporal de 30 años desde la creación de la RBCP, desde 1985 hasta el 2015. Con el objeto de contar con información censal que acompañe el proceso, se define utilizar cuatro decenios como hitos de análisis. Por consiguiente, se requieren cuatro imágenes Landsat correspondientes a los años 1985, 1995, 2005 y 2015. Señalar que los datos de las imágenes Landsat 5 TM tienen siete bandas espectrales y del sensor OLI de Landsat 8 nueve bandas espectrales. Las bandas a utilizar, todas cuentan con una resolución espacial de 30 metros, lo cual representa un nivel suficientemente alto para el análisis de uso de suelo (Islam, Miah, & Inoue, 2014; Son, Thanh, & da, 2016). Desde la plataforma *EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés), se analizan características de las imágenes respecto a los años indicados durante período de verano. Se adquieren imágenes que contengan  $\leq 20\%$  de cobertura nubosa, según se indica en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Registro de imágenes Landsat adquiridas desde EarthExplorer

| SATELITE      | FECHA         | RESOLUCIÓN<br>RADIOMÉTRICA | RESOLUCIÓN<br>ESPACIAL | PATH | ROW |
|---------------|---------------|----------------------------|------------------------|------|-----|
| LANDSAT 5 TM  | 25 ENERO 1985 | 8 bits                     | 30 m                   | 233  | 083 |
| LANDSAT 5 TM  | 05 ENERO 1995 | 8 bits                     | 30 m                   | 233  | 083 |
| LANDSAT 5 TM  | 05 MARZO 2005 | 8 bits                     | 30 m                   | 233  | 083 |
| LANDSAT 8 OLI | 28 ENERO 2015 | 16 bits                    | 30 m                   | 233  | 083 |

Para el año 2005 se presentó una dificultad en particular, donde las fechas contenían un alto contenido nuboso sobre el área de la RBCP, inhabilitando la posibilidad de uso. Se optó por utilizar una imagen correspondiente a los primeros días del mes de marzo.

A partir de las categorías de análisis de uso de suelo, a ser presentadas en el apartado siguiente, se determina la digitalización de las zonas urbanas e industriales ante el alto nivel de confusión que representaba su respectivo patrón espectral. Para este proceso, se utilizaron diferentes combinaciones de banda en conjunto al portal “Wikimapia” (<http://wikimapia.org>) y el software *Google Earth Pro* a una escala 1:50.000, como sugieren Peralta-Rivero, Torrico-Albino, Vos, Galindo-Mendoza & Contreras-Servín (2015).

### 2.2.2. Definición e identificación de categorías de uso de suelo

Los modelos de cambio de uso de suelo recientemente se han considerado como herramientas importantes para analizar las causas y consecuencias de la dinámica de cambio de uso del suelo. Los cambios de uso y cobertura del suelo más importantes que deben ser estudiados son derivados de factores antropogénicos, puesto que tienen un impacto sobre los ecosistemas terrestres, la pérdida y la fragmentación de hábitat, y crean impactos negativos sobre la vida humana (Shahidul and Ahmed, 2011 en Reynoso Santos et al., 2016).

El modelado, entonces, puede definirse en el contexto de los sistemas de información geográfica (SIG) como cada vez que las operaciones de los SIG tratan de emular el procesamiento del mundo real en un momento determinado o durante un período prolongado (Goodchild, 2005; Paegelow et al. 2013 en Abuelaish & Olmedo, 2016).

Debido a lo anterior, existe la necesidad de mejorar el entendimiento de la dinámica de cambio de uso de suelo a través de modelos y proyecciones a escalas globales, regionales y temporales, particularmente con un enfoque sobre la explicación espacial de los procesos y resultados (Nayaran et al. 2014 en Reynoso Santos et al., 2016).

Para ello, en Chile se le ha transferido la responsabilidad de realizar un catastro de uso de suelo a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), quienes a partir de una necesidad, fueron los primeros en implementar técnicas para levantar información espacial referente a los bosques y su contexto. La limitación de estos catastros y sus actualizaciones regionales desagregadas, ha sido la baja veracidad de la información ante un proceso poco transparente y, la poca efectividad para determinar usos de suelo. Importante es indicar que, no se ha alcanzado niveles tales como las metodologías implementadas para el proyecto CORINE Land Cover o el USGS Land Cover, ni mucho menos estándares de análisis.

El catastro de bosque nativo incluye las siguientes categorías generales de uso de suelo:

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| a. Urbanas e industrial | e. Áreas sin vegetación |
| b. Terrenos agrícolas   | f. Cuerpos de agua      |
| c. Praderas matorrales  | g. Humedales            |
| d. Bosques              | h. Nieves y Glaciares   |

De las anteriores categorías, para la RBCP sólo aplican seis. Se excluyen “Humedales” y “Nieves y glaciares”. La definición de dichas clases, a continuación:

- a. **Urbanas e industrial:** se incluyen ciudades, pueblos, zonas industriales y la minería industrial.
- b. **Terrenos agrícolas:** se incluyen terrenos de uso agrícola y suelo rotativo cultivo-pradera.
- c. **Praderas matorrales:** representa una agrupación de clases más extensa, debido a las especificidades de la misma, sin embargo, para el objetivo de este trabajo, dicha agrupación es suficiente. Se compone de la siguiente forma: Praderas, Praderas Anuales, Praderas Perennes, Estepa Andina Central, Matorral Pradera Semidenso, Matorral Pradera Abierto, Matorral Pradera Muy Abierto, Matorral Denso, Matorral Semidenso, Matorral Abierto, Matorral Muy Abierto, Matorral Arborescente Denso, Matorral Arborescente Semidenso, Matorral Arborescente Abierto, Matorral Arborescente Muy Abierto, Matorral-Suculentas Denso, Matorral-Suculentas Semidenso, Matorral-Suculentas Abierto, Matorral-Suculentas Muy Abierto y Suculentas
- d. **Bosques:** incluye Plantación, Plantación Joven o Recién Cosechada, Bosques de Exóticas Asilvestradas, Nativo Adulto Denso, Nativo Adulto Semidenso, Renoval Denso, Renoval Semidenso, Renoval Abieto, Nativo Adulto - Renoval Denso, Adulto - Renoval Semidenso, Nativo Achaparrado Denso, Nativo Achaparrado Semidenso, Nativo Achaparrado Abierto, Achaparrado, Mixto Nativo Plantación Semidenso y Mixto Nativo Plantación Abierto.
- e. **Áreas sin vegetación:** representa clases de Playas y Dunas, Afloramientos Rocosos, Terrenos Sobre Límite Vegetación, Derrumbes Sin Vegetación, Terrenos Sin Vegetación y Cajas de Ríos. Igualmente se incluirá la red vial nacional.
- f. **Cuerpos de agua:** incluye Ríos, Lagos, Lagunas, Embalses y Tranques

### 2.2.3. Tratamiento de imágenes y agrupación de la información

Para una obtener la información deseada, se realizaron diferentes procedimientos a las imágenes Landsat según las categorías objetivo. En ambiente ENVI 5.3, se opta por la **separación de la vegetación** a través del módulo *Spear Vegetation Delineation* y, por la **separación de agua** a partir del índice normalizado de agua modificado (MNDWI por sus siglas en inglés para *Modified*

*Normalized Difference Water Index*). La **categoría urbana** ha sido abordada por la digitalización de la mancha urbana, descrito en el punto 2.2.1, mientras que la **categoría agrícola** se obtendrá a partir de lo indicado por los catastros de bosque nativo 1995 y 2003 realizados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), según el criterio de que se asume las zonas agrícolas como aquellas áreas que se encuentran en pendientes iguales o menores al 15%. Se debe contrarrestar la información según las categorías a obtener en procesos anteriores. En cuanto a la **categoría sin vegetación**, se adjudica todo territorio complementario no correspondiente a ninguna otra categoría en análisis.

#### *2.2.3.1. Separación de vegetación*

La separación de la vegetación se realiza a partir del módulo *Spear Vegetation Delineation* de ENVI 5.3, el cual permite disgregar la vegetación densa, de la vegetación moderada y de la dispersa. Lo anterior a través de la aplicación de una corrección atmosférica, reflectancia y, principalmente, cálculo de NDVI (siglas en inglés para *Normalized Difference Vegetation Index*; Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). De igual manera, el módulo permite distinguir aquella cubierta sin presencia de vegetación.

Como insumo, este módulo exige trabajar con imágenes en valores de Niveles Digitales (en adelante ND) originales. Importante señalar que, el cálculo del NDVI basa sus procedimientos en la reflectividad del infrarrojo cercano (IRC) y la reflectividad en Rojo (R). La riqueza del producto se encuentra en que logra normalizar las diferencias de iluminación para una misma cobertura vegetal, independiente si ella está expuesta u oculta a la radiación solar. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IRC} - \text{R}}{\text{IRC} + \text{R}}$$

Para efectos de los procesos a desarrollar, es importante señalar las características de cada banda según el sensor utilizado (ver Tabla 2).

Tabla 2: Características de bandas por sensor de satélite. Elaboración del autor en base a información USGS

| Satélite y sensor  | Bandas                                      | Longitud de onda (micrómetros) | Resolución (metros) |
|--|---|--------------------------------|---------------------|
| Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)   | Banda 1 - Azul                              | 0.45-0.52                      | 30                  |
|  | Banda 2 - Verde                             | 0.52-0.60                      | 30                  |
|  | Banda 3 - Roja                              | 0.63-0.69                      | 30                  |
|  | Banda 4 - Infrarrojo cercano (NIR)          | 0.76-0.90                      | 30                  |
|  | Banda 5 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 1 | 1.55-1.75                      | 30                  |
|  | Banda 6 - Termal                            | 10.40-12.50                    | 120* (30)           |
|  | Banda 7 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 2 | 2.08-2.35                      | 30                  |
| Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS) | Banda 1 - Ultra Azul (costero/aerosol)      | 0.43-0.45                      | 30                  |
|  | Banda 2 - Azul                              | 0.45-0.51                      | 30                  |
|  | Banda 3 - Verde                             | 0.53-0.59                      | 30                  |
|  | Banda 4 - Rojo                              | 0.64-0.67                      | 30                  |
|  | Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)          | 0.85-0.88                      | 30                  |
|  | Banda 6 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 1 | 1.57-1.65                      | 30                  |
|  | Banda 7 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 2 | 2.11-2.29                      | 30                  |
|  | Banda 8 - Pancromático                      | 0.50-0.68                      | 15                  |
|  | Banda 9 - Cirrus                            | 1.36-1.38                      | 30                  |
|  | Banda 10 - Infrarrojo termal (TIRS) 1       | 10.60-11.19                    | 100* (30)           |
| Banda 11 - Infrarrojo termal (TIRS) 2                                    | 11.50-12.51                                 | 100* (30)                      |                     |

Al trabajar con NDVI, se hace posible la aplicación de umbrales para definir los distintos tipos de vegetación encontrados dentro de cada escena, considerando que los valores de NDVI fluctúan entre -1 y 1, siendo los valores cercanos a 1 vegetación densa, y valores cercanos a -1, suelo desnudo o sin vegetación. En este caso específico se aplican los siguientes umbrales para las 4 fechas:

| TIPO DE CLASIFICACIÓN | UMBRAL      | RECLASIFICACIÓN |
|-----------------------|-------------|-----------------|
| Vegetación Densa      | 0.7 a 1     | BOSQUE          |
| Vegetación Moderada   | 0.44 a 0.69 | BOSQUE          |
| Vegetación Dispersa   | 0.3 a 0.43  | MATORRAL        |
| Sin vegetación        | -1 a 0.299  | SIN VEGETACIÓN  |

#### *2.2.3.2. Separación de agua*

La separación de agua se realiza a través de la aplicación de MNDWI (Siglas en inglés para *Modification of Normalized Difference Water Index*; Modificación del Índice de Agua de Diferencia Normalizada) en ENVI 5.3. Xu (2006) propone este indicador para suprimir el ruido generado por el suelo construido al determinar cuerpos de agua.

Su cálculo se basa en la reflectancia del verde y la reflectancia del infrarrojo medio. Su fórmula de cálculo se ejecuta como como sigue:

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{GREEN} - \text{MIR}}{\text{GREEN} + \text{MIR}}$$

#### *2.2.3.3. Identificación uso de suelo urbano*

El suelo urbano posee antecedentes de ser una categoría que genera alta confusión en términos de su patrón espectral. Dado este contexto, se debe digitalizar las áreas utilizando diferentes combinaciones de banda, en conjunto al portal “Wikimapia” (<http://wikimapia.org>) y el software Google Earth Pro a una escala 1:50.000, como sugieren Peralta-Rivero, Torrico-Albino, Vos, Galindo-Mendoza & Contreras-Servín (2015). El resultado directo responde a una capa de polígonos por año. A ello, se le ejecutará el geoproceso ERASE y luego MERGE según un buffer de 15 metros a la red vial.

#### *2.2.3.4. Identificación uso de suelo agrícola*

En particular, las áreas agrícolas fueron determinadas por las pendientes topográficas en coherencia con los criterios del catastro de bosque nativo 1995 y 2013. Debido a que en la zona de estudio las prácticas agrícolas se desarrollan en pendientes menores a 15%, se determinó que el terreno que esté dentro de dicha condición y al mismo tiempo, se encuentre dentro del catastro de bosque nativo, tendrá características de suelo agrícola.

#### 2.2.3.5. Identificación de suelo sin vegetación

Una vez identificadas todas las categorías de uso de suelo a utilizar, se le asignará el complemento espacial al área de la RBCP, y de esta manera asociar el suelo a zonas sin vegetación. Para estos fines, se debe unir toda la información por categorías y quitar ese conglomerado al área de la RBCP.

#### 2.2.3.6. Integración de datos geospaciales

La información obtenida en cada proceso será trabajada en formato vectorial. Para ello será necesario asignar un código único de identificación a cada categoría:

Tabla 3: Asignación de códigos únicos a las diferentes categorías de análisis

| CATEGORÍAS     | ID   |
|----------------|------|
| agua           | 999  |
| matorral       | 9999 |
| bosque         | 8888 |
| agrícola       | 888  |
| urbano         | 777  |
| sin vegetación | 7777 |

A partir de una capa central, se deberán realizar diferentes geoprocursos para agrupar todas las categorías por año, a una única capa principal.

#### 2.2.4. Consideraciones para el análisis de resultados

A partir de las capas centrales de información, se deben realizar análisis comparativos de conversión de categorías para cada año en estudio. Para ello, una serie de geoprocursos deben ser ejecutados para aportar a la detección de cambios de uso de suelo, según un análisis comparativo de transformación del uso del suelo.

En un primer lugar, se deben disolver los polígonos a partir de sus respectivas categorías, y de esta forma facilitar el proceso siguiente. Para cada proceso comparativo, se realizará un algebra de mapas en formato ráster, de cada valor anual asignado a cada año.

De esta manera, en una lógica bianual de “desde” y “hacia”, se comparan los años 1985-1995, 1995-2005, 2005-2015 y 1985-2015 en términos de dinámicas de cambio del uso de suelo. Para ello, se le asignan valores y resultados numéricos a esperar como producto del proceso de mapa de algebras (ver Tabla 4). A partir de la asignación de valores, los mismos deben ser convertidos a formato ráster, para luego realizar una sumatoria respecto a los dos años en cuestión.

*Tabla 4: Valores asignados y resultantes para análisis comparativos bianuales según categorías de uso de suelo. Elaboración del autor*

| Categoría      | (Hacia) | Códigos | Urbano | Agrícola | Agua | Sin vegetación | Bosque | Matorral |
|----------------|---------|---------|--------|----------|------|----------------|--------|----------|
|                |         |         | 777    | 888      | 999  | 7777           | 8888   | 9999     |
| (Desde)        |         | Valores | 10     | 20       | 30   | 40             | 50     | 60       |
| Urbano         | 777     | 1       | 11     | 21       | 31   | 41             | 51     | 61       |
| Agrícola       | 888     | 2       | 12     | 22       | 32   | 42             | 52     | 62       |
| Agua           | 999     | 3       | 13     | 23       | 33   | 43             | 53     | 63       |
| Sin vegetación | 7777    | 4       | 14     | 24       | 34   | 44             | 54     | 64       |
| Bosque         | 8888    | 5       | 15     | 25       | 35   | 45             | 55     | 65       |
| Matorral       | 9999    | 6       | 16     | 26       | 36   | 46             | 56     | 66       |

El desenlace de la sumatoria de capas, entregará una nueva capa de información, la cual contendrá valores entre el número 11 y el 66. Según este valor, se interpreta de la siguiente forma (ver Tabla 5):

| Interpretación               | Valor | Interpretación               | Valor |
|------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| Se mantuvo urbano            | 11    | De urbano a sin vegetación   | 41    |
| De agrícola a urbano         | 12    | De agrícola a sin vegetación | 42    |
| De agua a urbano             | 13    | De agua a sin vegetación     | 43    |
| De sin vegetación a urbano   | 14    | Se mantuvo sin vegetación    | 44    |
| De bosque a urbano           | 15    | De bosque a sin vegetación   | 45    |
| De matorral a urbano         | 16    | De matorral a sin vegetación | 46    |
| De urbano a agrícola         | 21    | De urbano a bosque           | 51    |
| Se mantuvo agrícola          | 22    | De agrícola a bosque         | 52    |
| De agua a agrícola           | 23    | De agua a bosque             | 53    |
| De sin vegetación a agrícola | 24    | De sin vegetación a bosque   | 54    |
| De bosque a agrícola         | 25    | Se mantuvo bosque            | 55    |
| De matorral a agrícola       | 26    | De matorral a bosque         | 56    |
| De urbano a agua             | 31    | De urbano a matorral         | 61    |
| De agrícola a agua           | 32    | De agrícola a matorral       | 62    |
| Se mantuvo agua              | 33    | De agua a matorral           | 63    |
| De sin vegetación a agua     | 34    | De sin vegetación a matorral | 64    |
| De bosque a agua             | 35    | De bosque a matorral         | 65    |
| De matorral a agua           | 36    | Se mantuvo matorral          | 66    |

*Tabla 5: Tabla de interpretación de cambio de uso de suelo según valores obtenidos. Elaboración del autor*

### 3. Capítulo III. Detección y análisis de cambio de uso de suelo

#### 3.1. Identificación de uso de suelo por categorías

##### 3.1.1. Separación de vegetación

Se ejecuta el módulo *Spear Vegetation Delineation* en ENVI 5.3. Solicita imágenes de entrada, y así proceder a la corrección atmosférica por sustracción de objetos oscuros (ver Imagen 7).

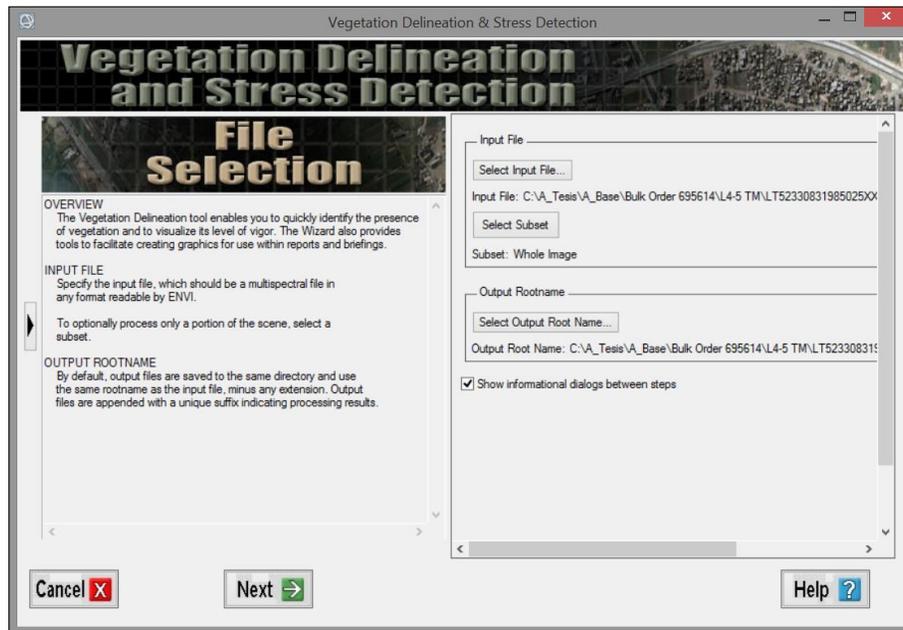


Imagen 7: Captura de pantalla para módulo SPEAR Vegetation Delineation and Stress Detection en ENVI 5.3

En el curso de este proceso, el módulo requiere asignar de manera manual la banda de Infrarrojo Cercano (NIR) y luego la banda Roja (R). Con ello, se obtiene como primer producto el NDVI, según la fórmula expresada anteriormente. Seguido los pasos descritos, el módulo consulta por la banda Azul (B) y Verde (G). Una vez finalizado este proceso de selección manual de bandas, el módulo entrega el producto final, el cual posibilita ajustes según los umbrales declarados a continuación:

| TIPO DE CLASIFICACIÓN | UMBRAL      | RECLASIFICACIÓN |
|-----------------------|-------------|-----------------|
| Vegetación Densa      | 0.7 a 1     | BOSQUE          |
| Vegetación Moderada   | 0.44 a 0.69 | BOSQUE          |
| Vegetación Dispersa   | 0.3 a 0.43  | MATORRAL        |
| Sin vegetación        | -1 a 0.299  | SIN VEGETACIÓN  |

Para trabajar con categorías de uso propio, fue necesario reclasificar las coberturas existentes (cuadro anterior). Dichos ajustes pueden ser vistos en la Imagen 8.

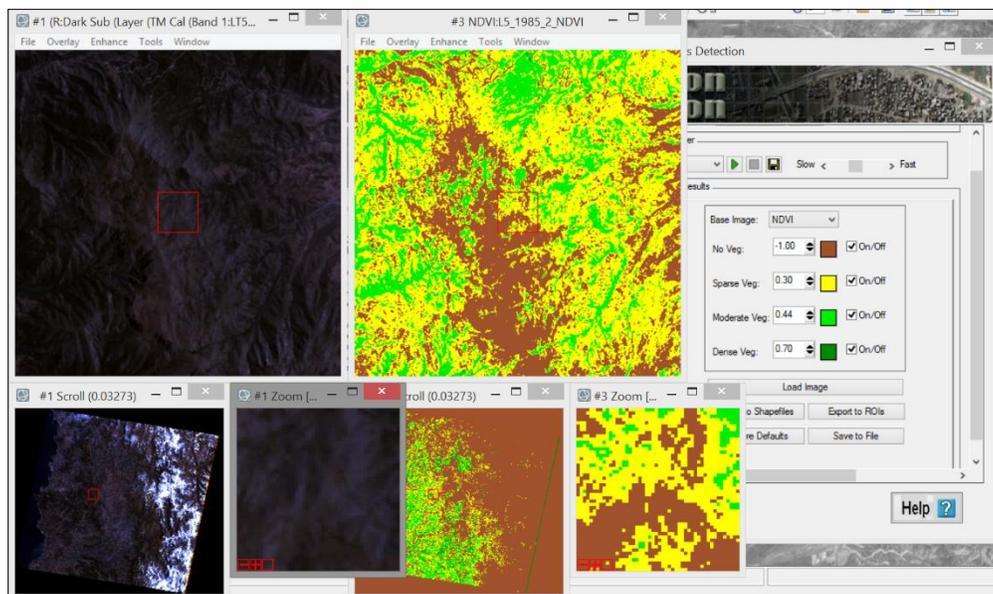
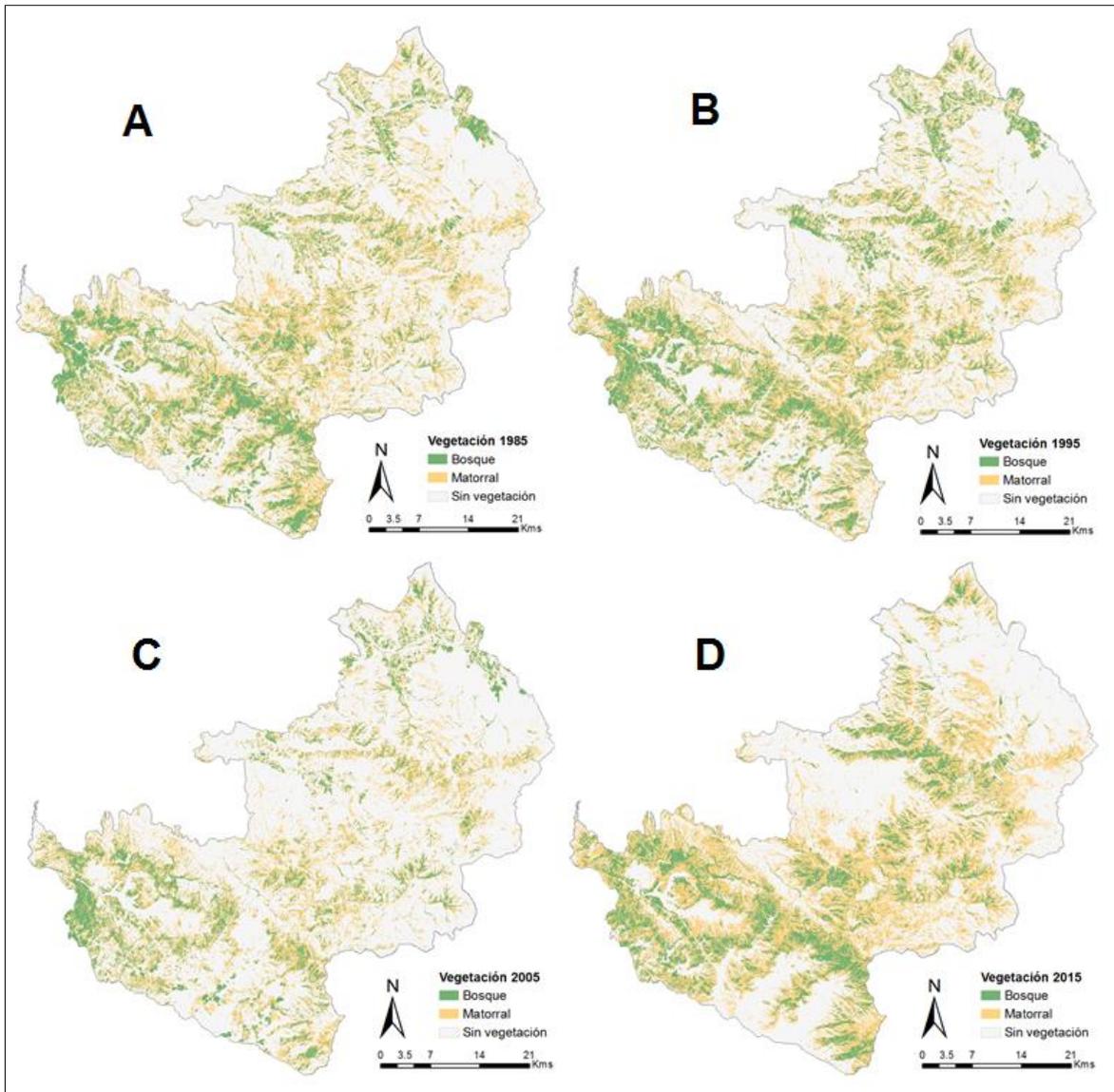


Imagen 8: Captura de pantalla de producto del módulo SPEAR Vegetation Delineation en ENVI 5.3

Estos resultados fueron exportados en formato vectorial, con ID único, para posterior procesamiento en formato vectorial en ArcMap 10.2. En ambiente ArcGIS, se realiza el geoproceso CLIP para cortar el producto a los límites de la RBCP, el resultado por año es el siguiente (ver Mapa 4):



Mapa 4: Mapas de detección de uso de suelo por vegetación para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D).  
Elaboración del autor

### 3.1.2. Separación de agua

Para la aplicación de este índice se tuvo que aplicar sobre imágenes corregidas en reflectancia, es decir, pasar de valores en ND (niveles digitales) en una escala de bits (8 o 16) a valores de reflectividad, en una escala de 0 a 1. La reflectancia es un parámetro biofísico que cuantifica la cantidad de energía recibida versus la reflejada, restando los efectos atmosféricos, por tanto, esta

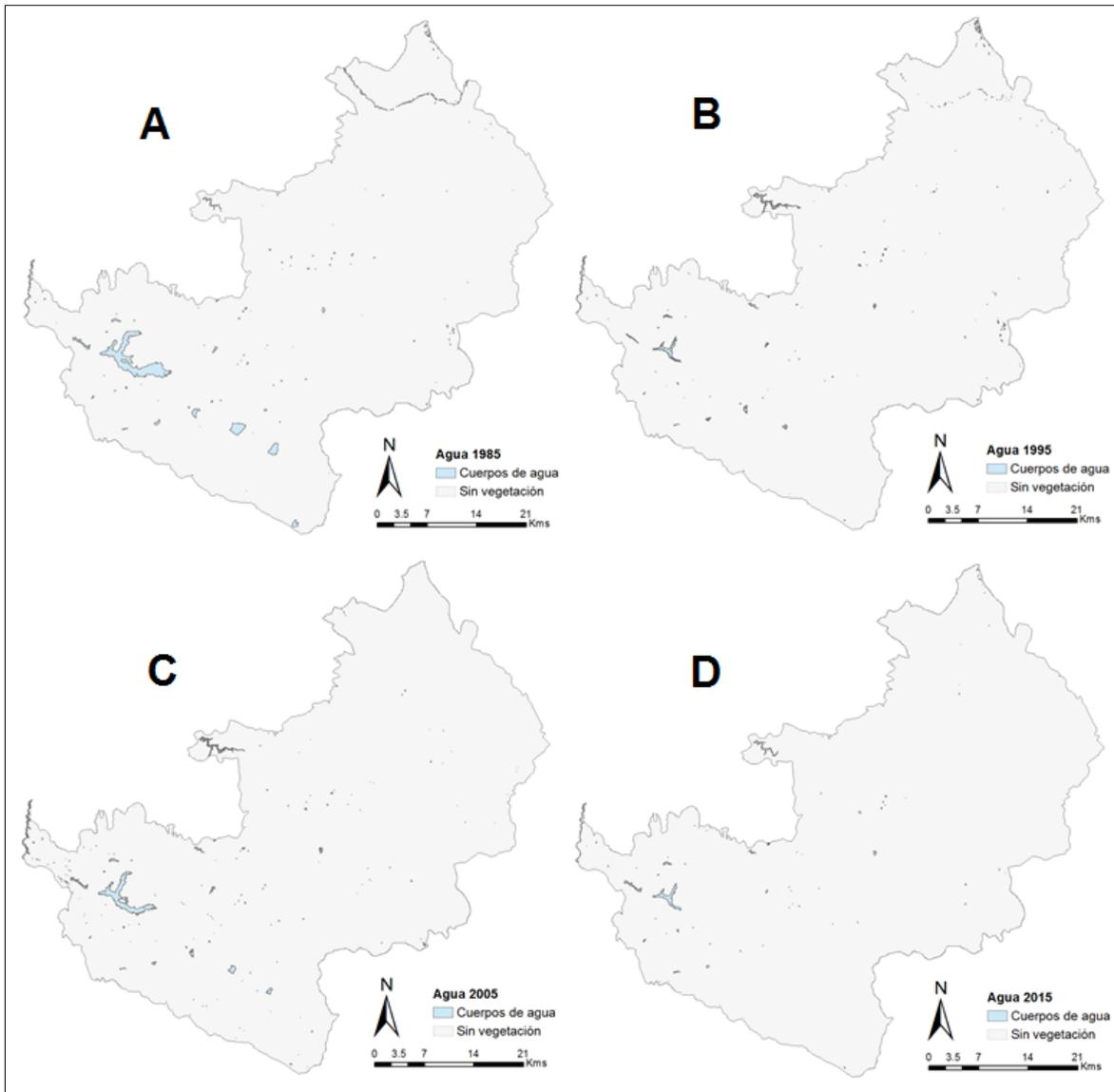
medida, permite la comparación entre distintas fechas. Para tales efectos, fue necesario descargar las escenas en valores de reflectancia del sitio <https://earthexplorer.usgs.gov/>:

| <b>TIPO DE CLASIFICACIÓN</b> | <b>UMBRAL</b> | <b>RECLASIFICACIÓN</b> |
|------------------------------|---------------|------------------------|
| Agua                         | 0.285 a 1     | CUERPOS DE AGUA        |
| No agua                      | -1 a 0.284    | NADA                   |

Este proceso fue realizado en ENVI 5.3, aplicando módulo BAND MATH o calculadora ráster, donde se ingresó la fórmula, seleccionando las bandas necesarias para obtener el resultado del índice:

$$\text{MNDWI} = \text{GREEN} - \text{MIR} / \text{GREEN} + \text{MIR}$$

Los resultados reclasificados, fueron exportados en formato vectorial, asignándole un ID único para posterior procesamiento (ver Mapa 5).



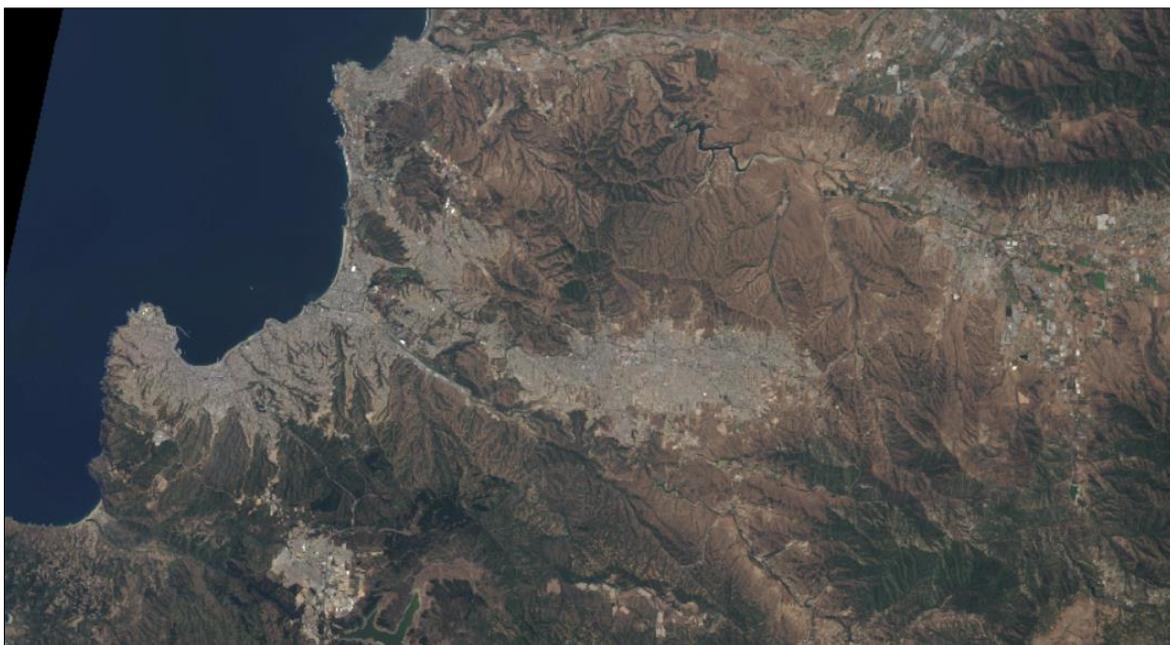
Mapa 5: Mapas de detección de uso de suelo urbano para cuerpos de agua para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor

### 3.1.4. Identificación uso de suelo urbano

A partir de la alta confusión que genera esta categoría en su patrón espectral, se utilizó la combinación de banda 4-3-2 para las imágenes Landsat 5 (ver Imagen 9) y 4-3-2 para Landsat 8 (ver Imagen 10).



*Imagen 9: Imagen Landsat 5 año 1995 en combinación de bandas 4-3-2. Elaboración del autor en ENVI 5.3*



*Imagen 10: Imagen Landsat 8 año 2015 en combinación de bandas 4-3-2. Elaboración del autor en ENVI 5.3*

De igual manera, el proceso fue acompañado según la información participativa que entrega el portal “Wikimapia” (<http://wikimapia.org>) (ver Imagen 11).



Imagen 11: Captura de pantalla portal "Wikimapia". Elaboración del autor

Para mejorar la identificación de áreas urbanas, se utiliza al mismo el software Google Earth Pro a una escala 1:50.000, como sugieren Peralta-Rivero, Torrico-Albino, Vos, Galindo-Mendoza & Contreras-Servín (2015). La particularidad utilizada, fue el uso de imágenes históricas almacenadas por el servidor del software (ver Imagen 12).

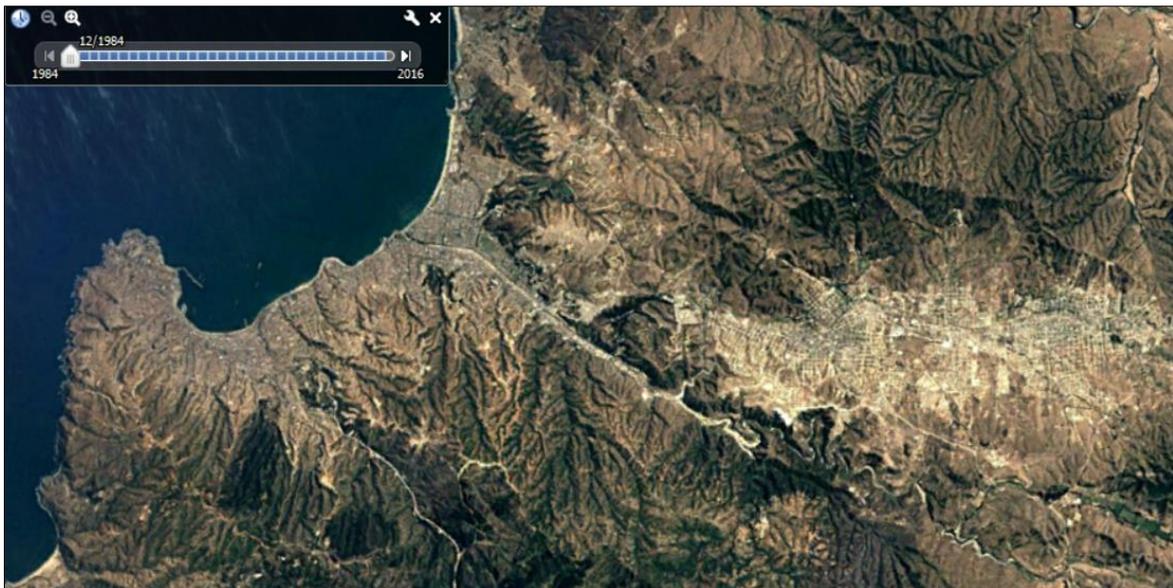
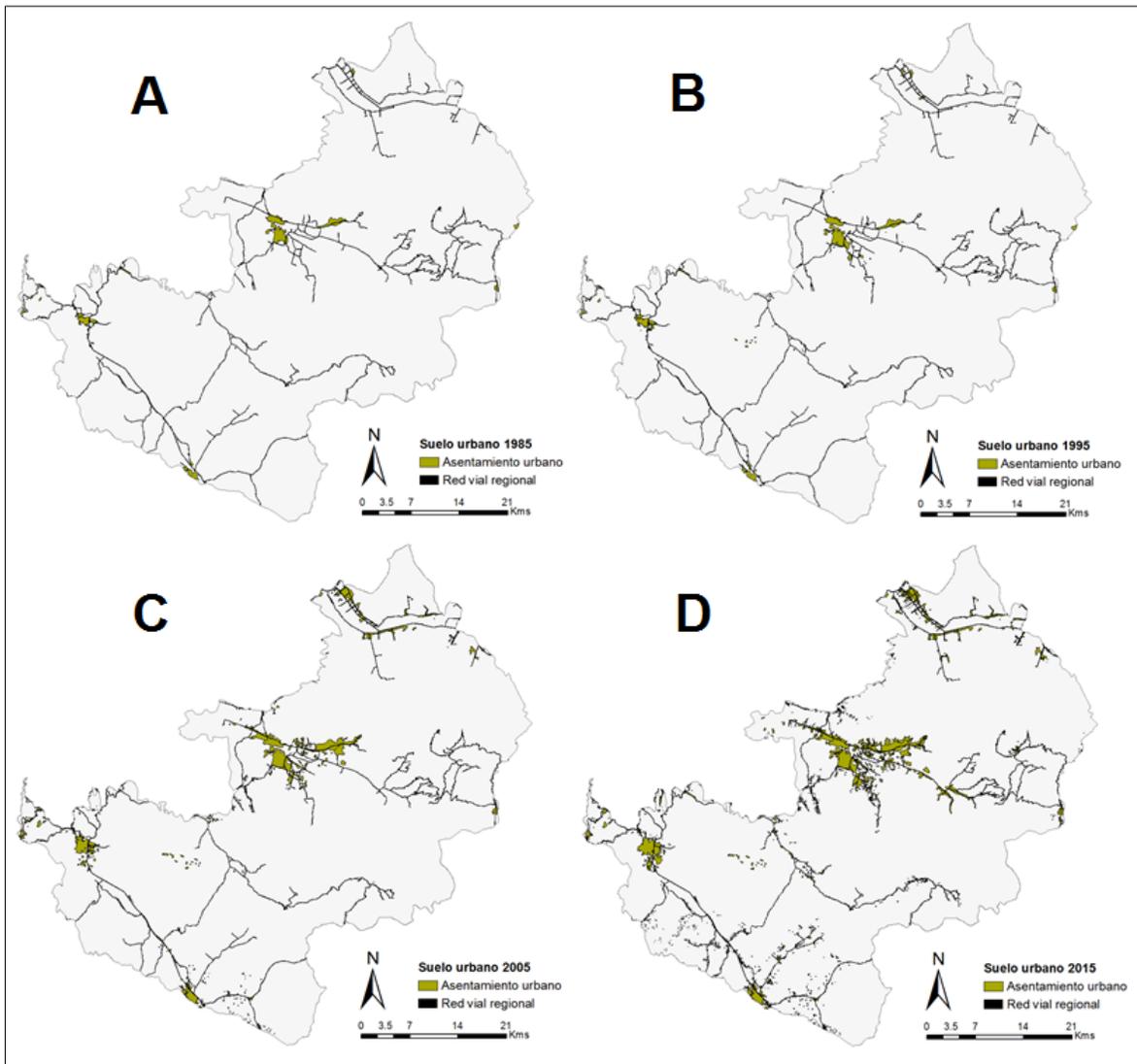


Imagen 12: Captura de pantalla de "Google Earth Pro" y el uso de imagen histórica. Elaboración del autor

Al proceso de digitalizar uso de suelo urbano, se le incorpora la red vial regional a partir de un buffer de 15 metros. Como resultado de identificación de uso de suelo urbano, se han obtenido para cada año en estudio, las siguientes capas de información (ver Mapa 6):

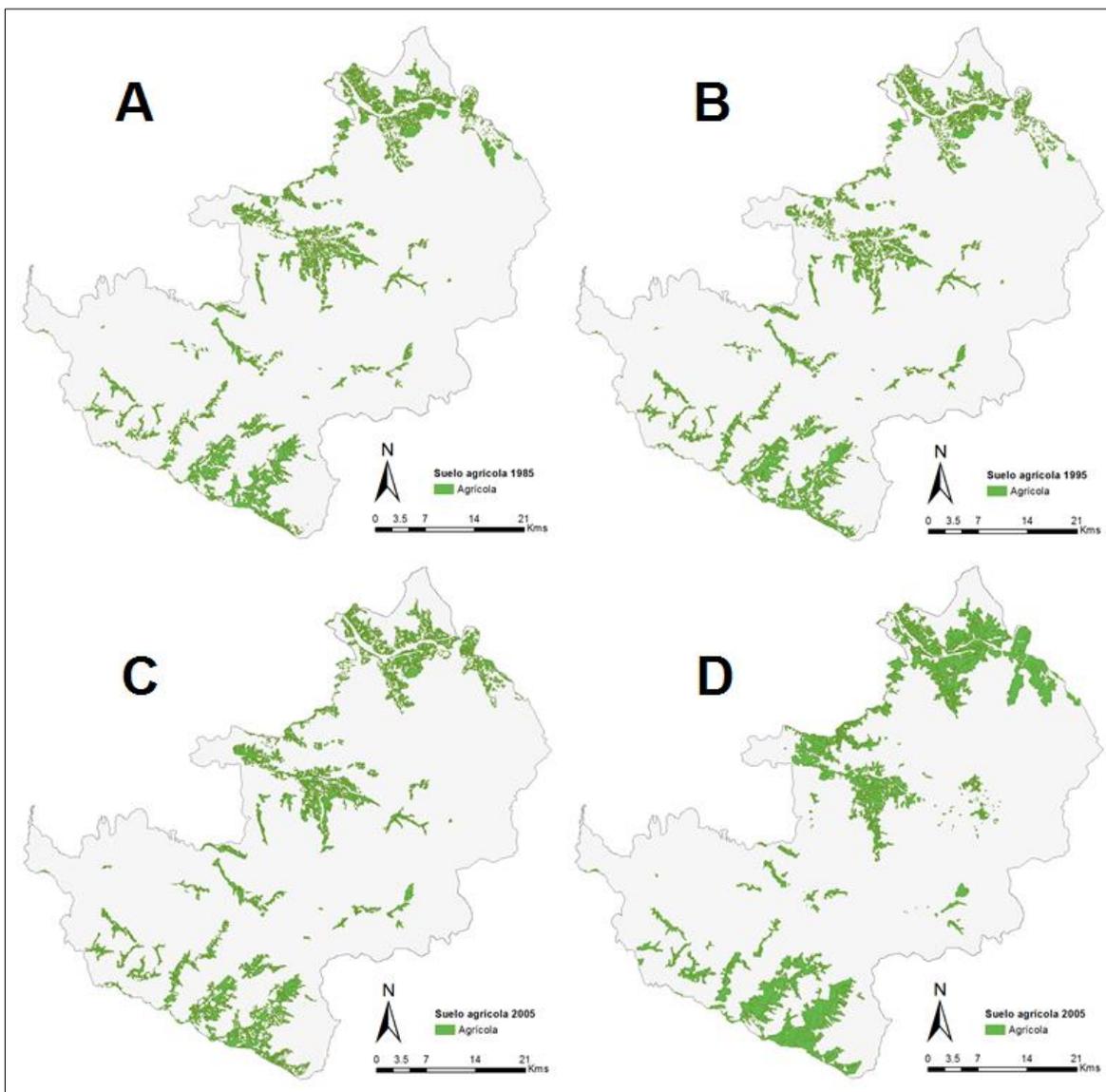


Mapa 6: Mapas de detección de uso de suelo urbano para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor

### 3.1.3. Identificación uso de suelo agrícola

Dado que el catastro de Bosque nativo 1995 y 2003 utiliza como criterio que, todas áreas iguales o menores a una pendiente del 15% son de uso agrícola, se realiza dicho proceso, sin embargo, se

contrarresta la información respecto lo identificado en categorías anteriores. A partir de la capa de suelo agrícola, se ejecuta el geoproceso “ERASE” en ArcMap 10.2, de las categorías vegetación, agua y suelo urbano. Los resultados de este proceso por año son los siguientes (ver Mapa 7):

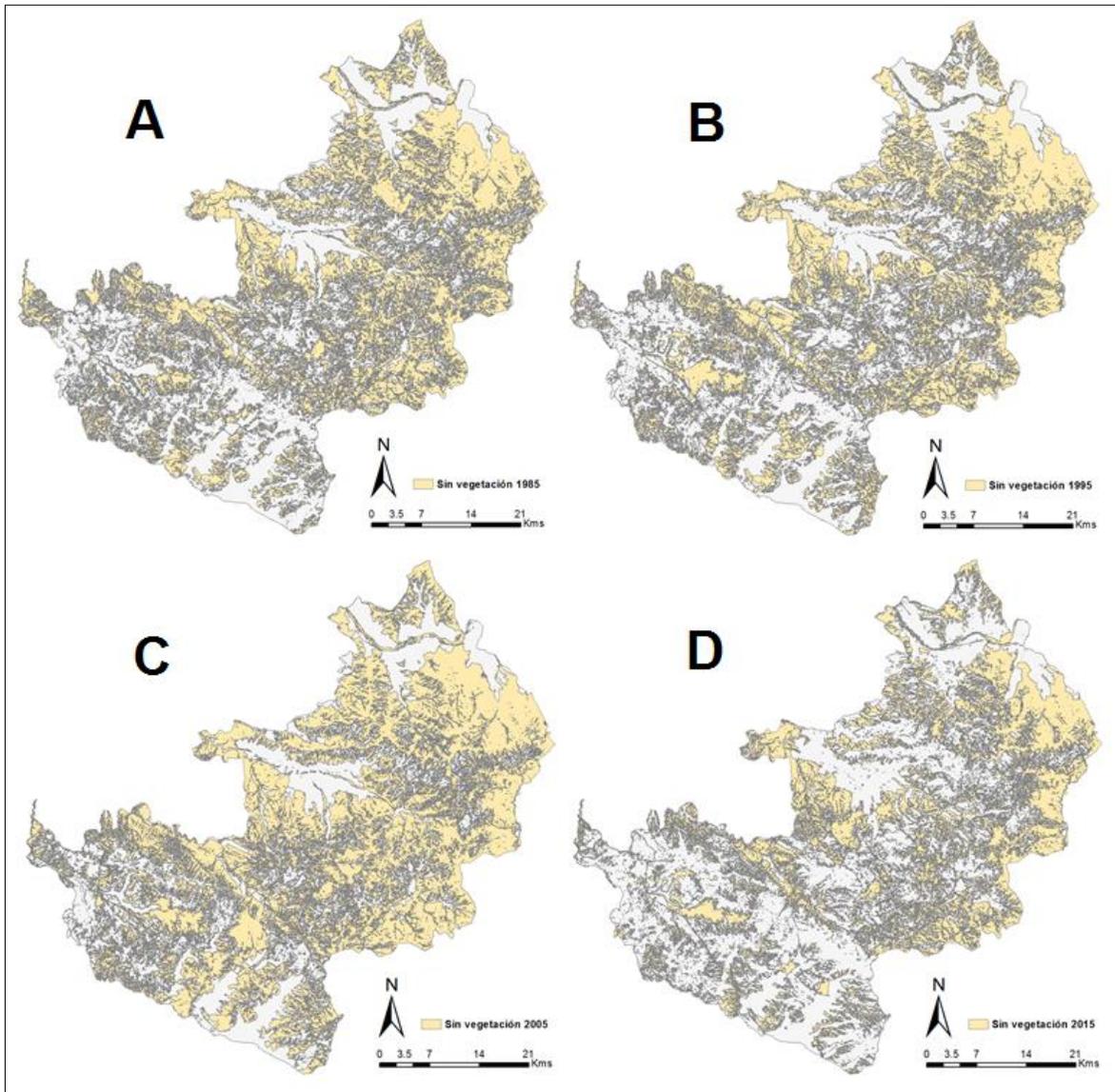


Mapa 7: Mapas de detección de uso de suelo agrícola para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D). Elaboración del autor

### 3.1.5. Identificación de suelo sin vegetación

Una vez agrupada la información por categorías a través el geoproceso “Merge” en ArcMap 10.2, se aplica el geoproceso “Erase” al área de la RBCP. El resultado se une a partir del mismo geoproceso

“Merge”, y a la nueva información añadida, se le asigna la categoría de suelo sin vegetación (ver Mapa 8).

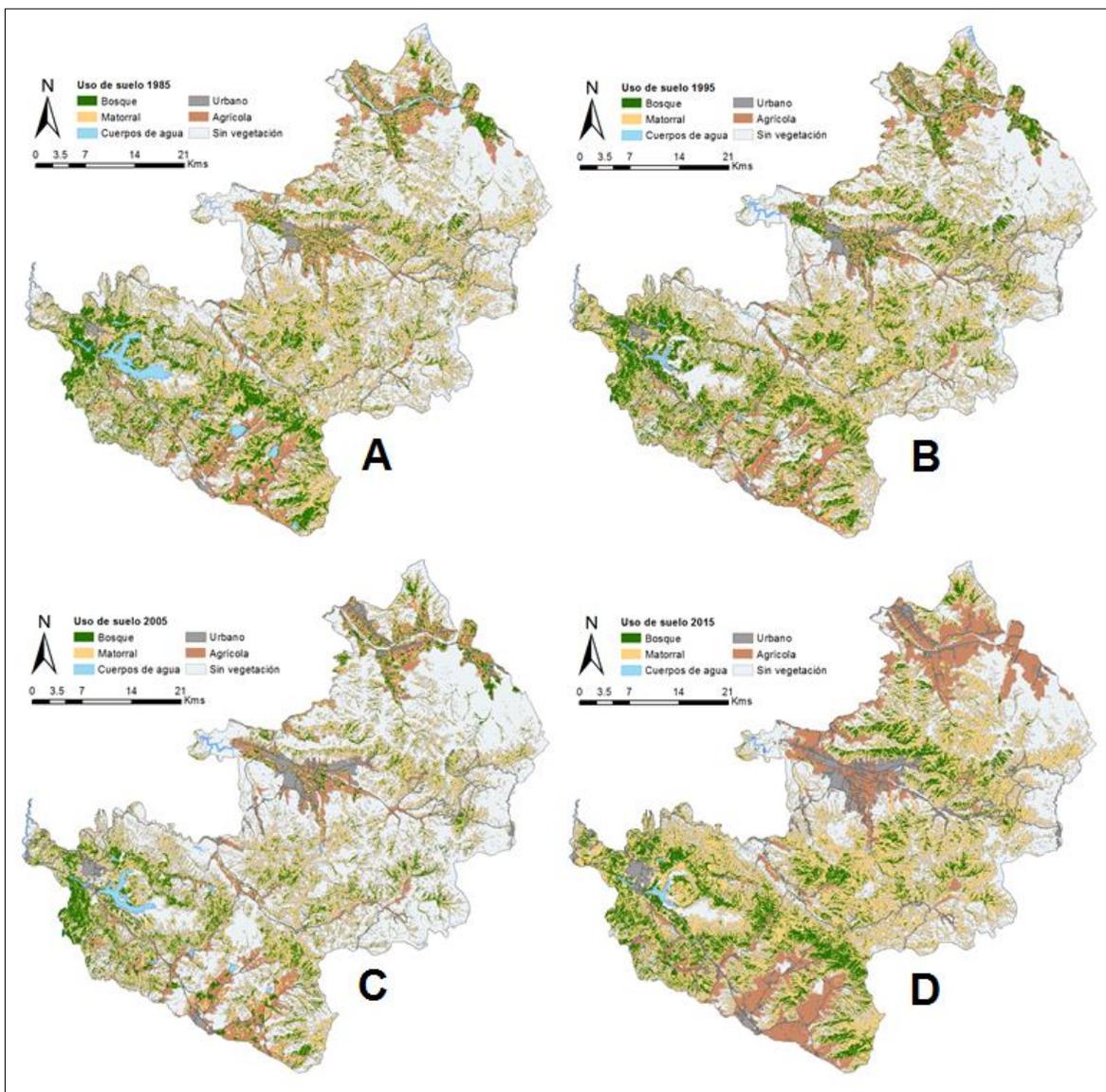


Mapa 8: Mapas de detección de uso de suelo sin vegetación para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D).  
Elaboración del autor

### 3.2. Integración de datos geoespaciales

La información vectorial obtenida en cada proceso fue unificada en una gran capa por año de análisis, la cual contiene diferenciaciones espaciales según las categorías establecidas en la Tabla 3.

En términos de integración de los datos geoespaciales, las capas resultados son las siguientes (ver Mapa 9):



Mapa 9: Mapas de Integración de categorías de uso de suelo para los años 1985 (A), 1995 (B), 2005 (C) y 2015 (D).  
Elaboración del autor

### 3.3 Detección de cambio

A partir de las capas conglomerados, se trabaja sobre las tablas de atributos por año. A partir de los datos, se analiza por categorías, años y zonificación de la RBCP. En una primera aproximación, se presentan datos generales del comportamiento del uso de suelo según las categorías definidas por año de estudio (ver Gráfico 4). Aumentando especificidad, se presentan datos porcentuales por categorías, según la zonificación de la RBCP (núcleo, amortiguación y transición; ver Tabla 6).

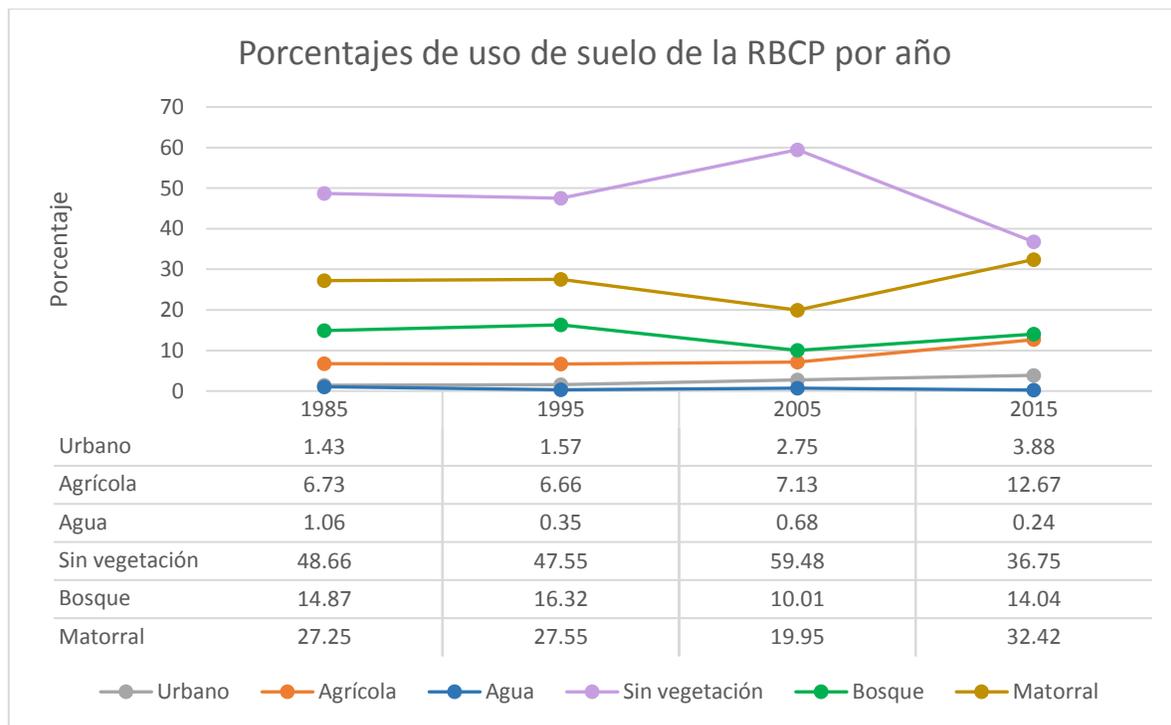


Gráfico 4: Porcentajes de uso de suelo de la RBCP por año. Elaboración del autor

Tabla 6: Porcentajes de uso de suelo según zonificación de la RBCP por categorías y años. Elaboración del autor

| Zona RBCP             | Núcleo |      |      |      | Amortiguación |      |      |      | Transición |      |      |      |
|-----------------------|--------|------|------|------|---------------|------|------|------|------------|------|------|------|
|                       | 1985   | 1995 | 2005 | 2015 | 1985          | 1995 | 2005 | 2015 | 1985       | 1995 | 2005 | 2015 |
| <b>Urbano</b>         | 0.1    | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.8           | 0.8  | 0.9  | 2.0  | 1.6        | 1.8  | 3.3  | 4.5  |
| <b>Agrícola</b>       | 0.0    | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 1.8           | 2.0  | 2.2  | 3.2  | 8.3        | 8.1  | 8.7  | 15.6 |
| <b>Agua</b>           | 10.7   | 1.7  | 6.3  | 1.8  | 0.4           | 0.2  | 0.2  | 0.1  | 0.5        | 0.3  | 0.3  | 0.2  |
| <b>Sin vegetación</b> | 51.3   | 54.4 | 63.3 | 39.1 | 49.9          | 46.7 | 60.1 | 31.1 | 48.2       | 47.2 | 59.1 | 37.7 |
| <b>Bosque</b>         | 11.0   | 16.3 | 8.4  | 17.4 | 16.1          | 19.5 | 11.8 | 21.3 | 14.9       | 15.7 | 9.8  | 12.3 |
| <b>Matorral</b>       | 26.8   | 27.4 | 21.8 | 41.4 | 31.0          | 30.8 | 24.8 | 42.3 | 26.5       | 26.9 | 18.8 | 29.7 |

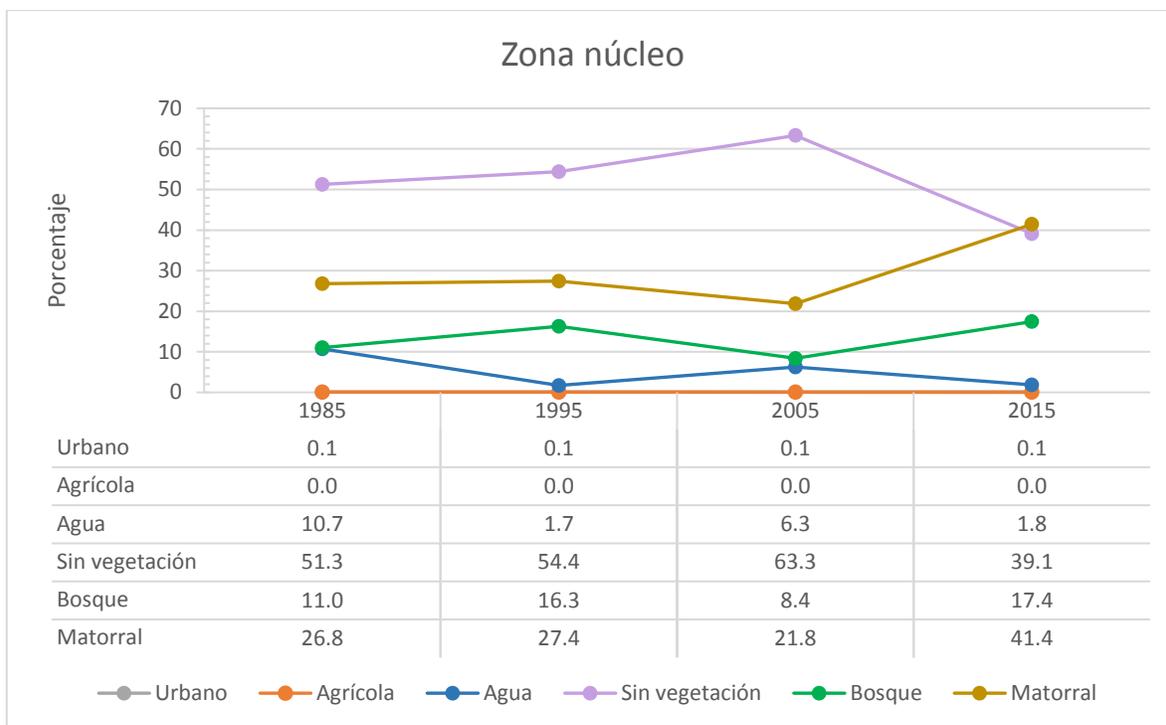


Gráfico 5: Porcentaje de uso de suelo por año dentro de la Zona Núcleo de la RBCP. Elaboración del autor

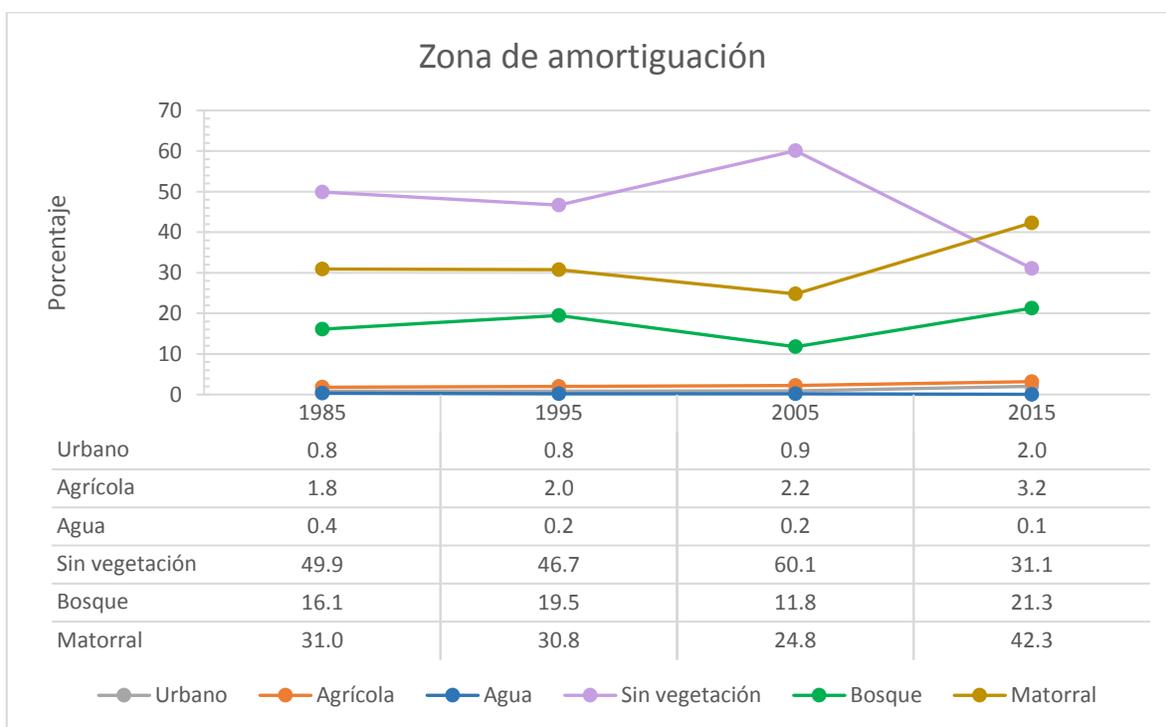


Gráfico 6: Porcentaje de uso de suelo por año dentro de la Zona de Amortiguación de la RBCP. Elaboración del autor

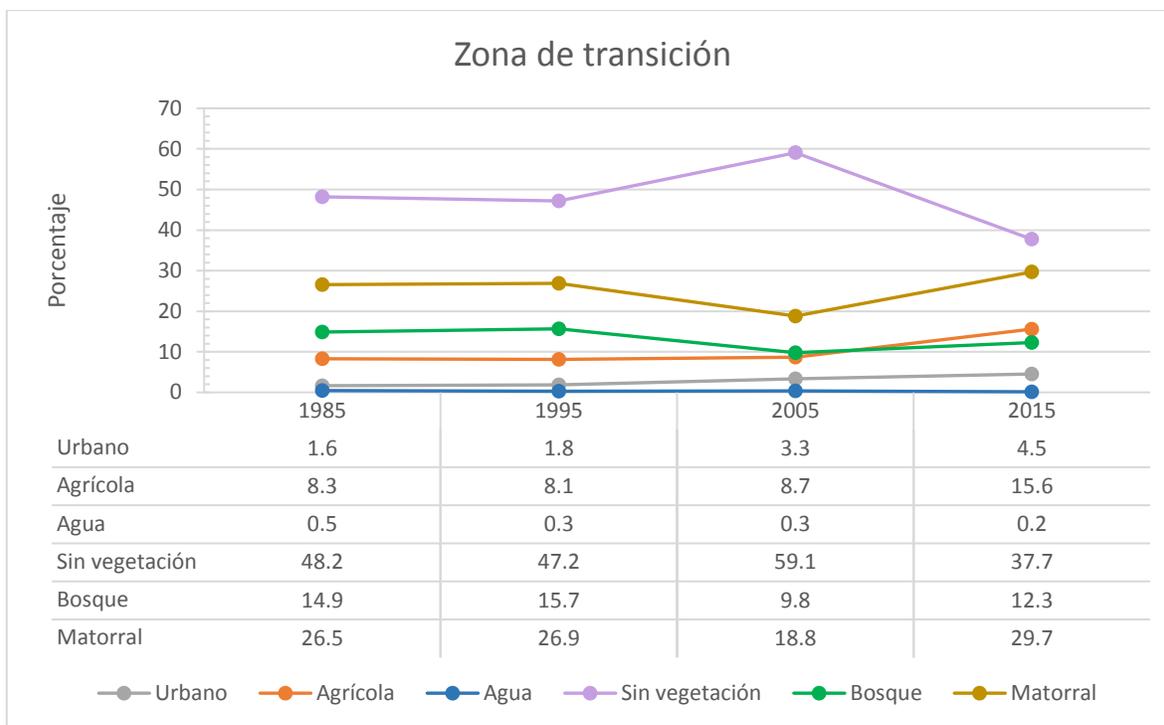


Gráfico 7: Porcentaje de uso de suelo por año dentro de la Zona de Transición de la RBCP. Elaboración del autor

En términos de detección de cambio de uso de suelo, para el año 2015, se detecta que la categoría que más fue convertida a otra categoría fue “sin vegetación”, seguida por “matorral” en las tres zonas de la RBCP (ver Tabla 7). De igual forma, se presentan los resultados en la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 7: Categorías convertidas a otras categorías, por hectáreas transformadas para el año 2015. Elaboración del autor

| <b>2015 Ha. Convertidas</b> | <b>Núcleo</b> | <b>Transición</b> | <b>Amortiguación</b> |
|-----------------------------|---------------|-------------------|----------------------|
| <b>Urbano</b>               | 4.8           | 350.7             | 54.9                 |
| <b>Agrícola</b>             | 3.3           | 4,400.7           | 409.6                |
| <b>Agua</b>                 | 1,298.6       | 655.5             | 120.5                |
| <b>Sin vegetación</b>       | 3,346.4       | 31,369.4          | 8,866.4              |
| <b>Bosque</b>               | 460.6         | 15,726.4          | 2,297.2              |
| <b>Matorral</b>             | 1,393.9       | 24,675.6          | 5,062.9              |

Tabla 8: Resultados de análisis de cambio en porcentaje según medidas de área por zona núcleo RBCP. Elaboración del autor.

| Zona                         | Interpretación               | Código cambio | Área (ha) | %         |           |           |
|------------------------------|------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                              |                              |               |           | 1985-1995 | 1995-2005 | 2005-2015 |
| Núcleo                       | Se mantuvo urbano            | 11            | 21.61     | 0.12      | 0.15      | 0.15      |
|                              | De agrícola a urbano         | 12            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agua a urbano             | 13            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De sin vegetación a urbano   | 14            | 0.00      | 0.02      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De bosque a urbano           | 15            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De matorral a urbano         | 16            | 0.00      | 0.01      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De urbano a agrícola         | 21            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | Se mantuvo agrícola          | 22            | 0.00      | 0.02      | 0.03      | 0.00      |
|                              | De agua a agrícola           | 23            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De sin vegetación a agrícola | 24            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De bosque a agrícola         | 25            | 2.37      | 0.00      | 0.00      | 0.02      |
|                              | De matorral a agrícola       | 26            | 0.46      | 0.01      | 0.01      | 0.00      |
|                              | De urbano a agua             | 31            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a agua           | 32            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | Se mantuvo agua              | 33            | 267.32    | 1.70      | 1.70      | 1.84      |
|                              | De sin vegetación a agua     | 34            | 0.00      | 0.01      | 3.92      | 0.00      |
|                              | De bosque a agua             | 35            | 0.00      | 0.00      | 0.15      | 0.00      |
|                              | De matorral a agua           | 36            | 0.00      | 0.00      | 0.50      | 0.00      |
|                              | De urbano a sin vegetación   | 41            | 0.00      | 0.01      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a sin vegetación | 42            | 1.38      | 0.00      | 0.00      | 0.01      |
|                              | De agua a sin vegetación     | 43            | 619.06    | 8.34      | 0.01      | 4.26      |
|                              | Se mantuvo sin vegetación    | 44            | 5019.27   | 39.65     | 48.90     | 34.51     |
|                              | De bosque a sin vegetación   | 45            | 4.21      | 0.45      | 1.32      | 0.03      |
|                              | De matorral a sin vegetación | 46            | 43.19     | 5.90      | 13.01     | 0.30      |
|                              | De urbano a bosque           | 51            | 0.00      | 0.01      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a bosque         | 52            | 0.72      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agua a bosque             | 53            | 1.46      | 0.16      | 0.00      | 0.01      |
|                              | De sin vegetación a bosque   | 54            | 255.49    | 1.33      | 0.08      | 1.76      |
|                              | Se mantuvo bosque            | 55            | 1089.16   | 8.05      | 7.50      | 7.49      |
|                              | De matorral a bosque         | 56            | 1188.19   | 6.78      | 0.85      | 8.17      |
|                              | De urbano a matorral         | 61            | 0.00      | 0.01      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a matorral       | 62            | 4.08      | 0.00      | 0.00      | 0.03      |
|                              | De agua a matorral           | 63            | 24.47     | 0.57      | 0.00      | 0.17      |
| De sin vegetación a matorral | 64                           | 3921.98       | 10.29     | 1.45      | 26.97     |           |
| De bosque a matorral         | 65                           | 130.30        | 2.45      | 7.35      | 0.90      |           |
| Se mantuvo matorral          | 66                           | 1947.83       | 14.12     | 13.07     | 13.39     |           |

Tabla 9: Resultados de análisis de cambio en porcentaje según medidas de área por zona de amortiguación RBCP.  
Elaboración del autor.

| Zona                         | Interpretación               | Código cambio | Área (ha) | %         |           |           |
|------------------------------|------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                              |                              |               |           | 1985-1995 | 1995-2005 | 2005-2015 |
| Amortiguación                | Se mantuvo urbano            | 11            | 349.77    | 0.68      | 0.80      | 0.90      |
|                              | De agrícola a urbano         | 12            | 171.69    | 0.03      | 0.05      | 0.44      |
|                              | De agua a urbano             | 13            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De sin vegetación a urbano   | 14            | 196.78    | 0.09      | 0.03      | 0.51      |
|                              | De bosque a urbano           | 15            | 11.61     | 0.01      | 0.01      | 0.03      |
|                              | De matorral a urbano         | 16            | 55.89     | 0.03      | 0.02      | 0.14      |
|                              | De urbano a agrícola         | 21            | 0.09      | 0.03      | 0.04      | 0.00      |
|                              | Se mantuvo agrícola          | 22            | 350.89    | 1.37      | 1.71      | 0.91      |
|                              | De agua a agrícola           | 23            | 0.35      | 0.01      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De sin vegetación a agrícola | 24            | 519.92    | 0.05      | 0.00      | 1.34      |
|                              | De bosque a agrícola         | 25            | 121.76    | 0.13      | 0.08      | 0.31      |
|                              | De matorral a agrícola       | 26            | 245.61    | 0.46      | 0.41      | 0.63      |
|                              | De urbano a agua             | 31            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a agua           | 32            | 2.43      | 0.00      | 0.01      | 0.01      |
|                              | Se mantuvo agua              | 33            | 17.62     | 0.15      | 0.15      | 0.05      |
|                              | De sin vegetación a agua     | 34            | 3.51      | 0.02      | 0.03      | 0.01      |
|                              | De bosque a agua             | 35            | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De matorral a agua           | 36            | 0.00      | 0.00      | 0.01      | 0.00      |
|                              | De urbano a sin vegetación   | 41            | 3.34      | 0.07      | 0.00      | 0.01      |
|                              | De agrícola a sin vegetación | 42            | 206.47    | 0.03      | 0.00      | 0.53      |
|                              | De agua a sin vegetación     | 43            | 51.39     | 0.19      | 0.02      | 0.13      |
|                              | Se mantuvo sin vegetación    | 44            | 11546.32  | 38.56     | 43.51     | 29.80     |
|                              | De bosque a sin vegetación   | 45            | 59.01     | 0.93      | 1.57      | 0.15      |
|                              | De matorral a sin vegetación | 46            | 193.39    | 6.94      | 15.02     | 0.50      |
|                              | De urbano a bosque           | 51            | 0.00      | 0.02      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a bosque         | 52            | 5.88      | 0.06      | 0.07      | 0.02      |
|                              | De agua a bosque             | 53            | 0.43      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De sin vegetación a bosque   | 54            | 1032.32   | 1.23      | 0.78      | 2.66      |
|                              | Se mantuvo bosque            | 55            | 3514.59   | 10.82     | 9.40      | 9.07      |
|                              | De matorral a bosque         | 56            | 3686.83   | 7.36      | 1.50      | 9.52      |
|                              | De urbano a matorral         | 61            | 0.18      | 0.05      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a matorral       | 62            | 130.46    | 0.33      | 0.19      | 0.34      |
|                              | De agua a matorral           | 63            | 8.09      | 0.01      | 0.00      | 0.02      |
| De sin vegetación a matorral | 64                           | 9997.94       | 9.87      | 2.37      | 25.80     |           |
| De bosque a matorral         | 65                           | 846.71        | 4.31      | 8.43      | 2.19      |           |
| Se mantuvo matorral          | 66                           | 5416.23       | 16.18     | 13.78     | 13.98     |           |

Tabla 10: Resultados de análisis de cambio en porcentaje según medidas de área por zona de transición RBCP.  
Elaboración del autor.

| Zona                         | Interpretación               | Código cambio | Área (ha) | %         |           |           |
|------------------------------|------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                              |                              |               |           | 1985-1995 | 1995-2005 | 2005-2015 |
| Transición                   | Se mantuvo urbano            | 11            | 5899.46   | 1.45      | 1.78      | 3.15      |
|                              | De agrícola a urbano         | 12            | 1042.61   | 0.12      | 0.44      | 0.56      |
|                              | De agua a urbano             | 13            | 0.18      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De sin vegetación a urbano   | 14            | 884.64    | 0.13      | 0.37      | 0.47      |
|                              | De bosque a urbano           | 15            | 107.11    | 0.03      | 0.26      | 0.06      |
|                              | De matorral a urbano         | 16            | 376.77    | 0.09      | 0.46      | 0.20      |
|                              | De urbano a agrícola         | 21            | 124.17    | 0.04      | 0.02      | 0.07      |
|                              | Se mantuvo agrícola          | 22            | 11530.52  | 5.50      | 5.36      | 6.15      |
|                              | De agua a agrícola           | 23            | 31.06     | 0.03      | 0.01      | 0.02      |
|                              | De sin vegetación a agrícola | 24            | 6058.27   | 0.09      | 0.00      | 3.23      |
|                              | De bosque a agrícola         | 25            | 5171.14   | 0.89      | 1.39      | 2.76      |
|                              | De matorral a agrícola       | 26            | 6356.94   | 1.58      | 1.90      | 3.39      |
|                              | De urbano a agua             | 31            | 0.63      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a agua           | 32            | 2.70      | 0.01      | 0.00      | 0.00      |
|                              | Se mantuvo agua              | 33            | 263.72    | 0.12      | 0.22      | 0.14      |
|                              | De sin vegetación a agua     | 34            | 22.22     | 0.14      | 0.09      | 0.01      |
|                              | De bosque a agua             | 35            | 0.27      | 0.00      | 0.01      | 0.00      |
|                              | De matorral a agua           | 36            | 0.81      | 0.01      | 0.02      | 0.00      |
|                              | De urbano a sin vegetación   | 41            | 138.10    | 0.07      | 0.03      | 0.07      |
|                              | De agrícola a sin vegetación | 42            | 2759.36   | 0.08      | 0.00      | 1.47      |
|                              | De agua a sin vegetación     | 43            | 276.00    | 0.25      | 0.05      | 0.15      |
|                              | Se mantuvo sin vegetación    | 44            | 65626.99  | 39.43     | 44.86     | 35.02     |
|                              | De bosque a sin vegetación   | 45            | 444.68    | 0.82      | 1.73      | 0.24      |
|                              | De matorral a sin vegetación | 46            | 1607.42   | 6.56      | 12.39     | 0.86      |
|                              | De urbano a bosque           | 51            | 9.00      | 0.03      | 0.00      | 0.00      |
|                              | De agrícola a bosque         | 52            | 50.63     | 1.05      | 1.01      | 0.03      |
|                              | De agua a bosque             | 53            | 11.70     | 0.02      | 0.00      | 0.01      |
|                              | De sin vegetación a bosque   | 54            | 3380.53   | 1.07      | 0.27      | 1.80      |
|                              | Se mantuvo bosque            | 55            | 9597.49   | 8.46      | 6.71      | 5.12      |
|                              | De matorral a bosque         | 56            | 9979.08   | 5.05      | 1.80      | 5.33      |
|                              | De urbano a matorral         | 61            | 38.67     | 0.05      | 0.00      | 0.02      |
|                              | De agrícola a matorral       | 62            | 866.20    | 1.54      | 1.31      | 0.46      |
|                              | De agua a matorral           | 63            | 57.17     | 0.04      | 0.00      | 0.03      |
| De sin vegetación a matorral | 64                           | 34729.50      | 7.33      | 1.60      | 18.53     |           |
| De bosque a matorral         | 65                           | 3013.81       | 4.70      | 5.57      | 1.61      |           |
| Se mantuvo matorral          | 66                           | 16939.14      | 13.25     | 10.33     | 9.04      |           |

### 3.4. Análisis de resultados

Los resultados presentados son abordables desde dos frentes, (1) por comportamiento de las categorías en los años de estudio y, (2) a partir del comportamiento del uso del suelo en las zonas de gestión de la RBCP.

#### 3.4.1. Respecto a las categorías

Se evidencia una gran presencia de los suelos desprovistos de vegetación, con un promedio de 48.11% del área total de la RBCP para los cuatro años, los cuales disminuyen hacia el 2015, salvo para el año 2005, año en que aumentan en más de diez puntos porcentuales respecto al año anterior (ver Gráfico 4). A pesar de ello, por ahora representa un dato con un grado de importancia menor respecto al comportamiento del resto de las categorías. La vegetación se comportó de manera disímil, donde la categoría bosque comienza el período de monitoreo representando un 14.87% del área total de la reserva, termina con un 14.04%, lo cual significan 33,841.15 hectáreas. Sin embargo, la fluctuación observada en los años intermedios fue de 16.32% a un 10.01%, dato que en la práctica soporta una reducción de más de 15.000 hectáreas correspondientes a bosque de diferente composición presente en la RBCP (ver Gráfico 8).

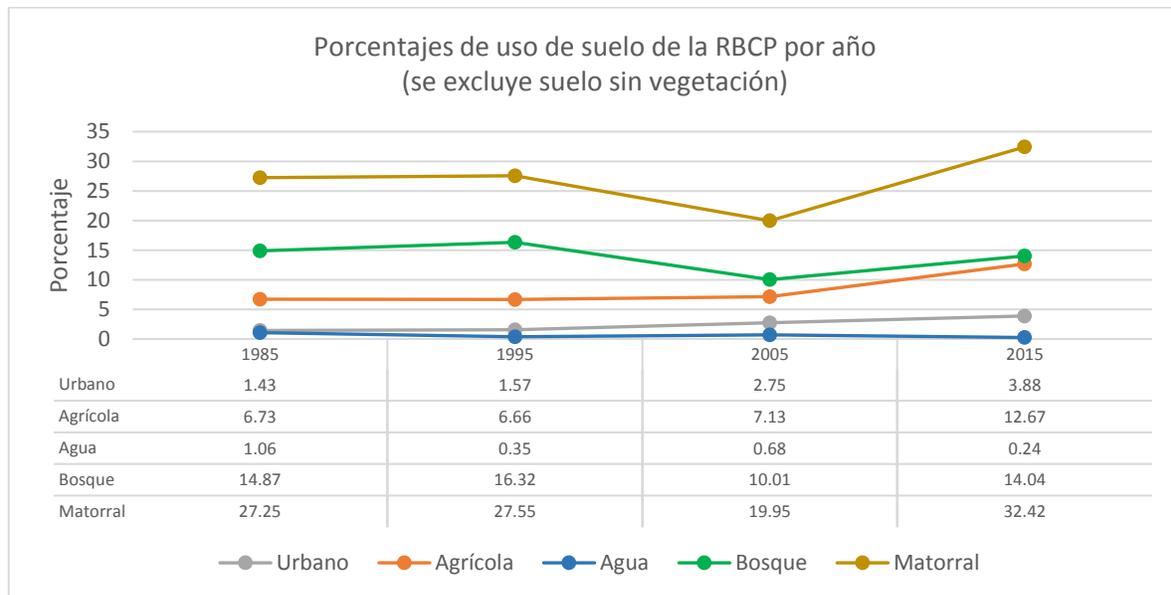


Gráfico 8: Porcentajes de uso de suelo de la RBCP por año excluyendo categoría "sin vegetación". Elaboración del autor

En cuanto al matorral, durante los dos primeros años en estudio se comporta de manera estable con un 27% del área total de la RBCP. Sin embargo, durante el año 2005 cae a un 19.95% experimentando un abrupto crecimiento en el año 2015, con un 32.42% del área total, lo cual representa 78,151.52 hectáreas.

Los terrenos agrícolas doblaron su extensión en el 2015 a partir de la base del año 1985, donde comienzan con un 6.73% del área total de la RBCP, pasando por un 6.66% para el 1995, 7.13% para el 2005, finalizando con 12.67% de terrenos agrícolas para el año 2015. Lo anterior se traduce en que los terrenos han pasado de ser 16,205.56 hectáreas a 30,535.85 hectáreas. Al igual que la categoría agrícola, lo urbano experimenta de igual forma un incremento en su extensión, expandiéndose 2.5 veces por sobre el área base. Pasa de 3,444.73 hectáreas en 1985; 3,786.81 hectáreas en 1995; 6,628.6 hectáreas en 2005 para finalizar con 9,341.76 hectáreas en el 2015; 1.43%, 1.57%, 2.75% y 3.88% de área total respectivamente.

Frente a lo anterior, el uso de suelo con la categoría agua presenta una oscilación con tendencia negativa, que va desde el 1.06% del área total en 1985, a 0.35% durante el año 1995, presentando un crecimiento de 798.45 hectáreas en el año 2005, el cual representa un 0.68% del área total. Sin embargo, ese crecimiento se ve fuertemente afectado para el año 2015, donde la presencia de agua en la RBCP fue de solo un 0.24% del área total. Debe ser considerado que la región en los últimos 8 años ha presentado al menos 24 decretos de zona de escasez hídrica.

Frente a lo presentado previamente, debe destacarse que existe un nivel de sensibilidad especial para las categorías urbanas y agrícolas y sus respectivas dinámicas contextuales. Lo anterior debido a que los asentamientos urbanos en Chile, tal como ha sido mencionado en otros apartados de este trabajo, carecen de un marco general de ordenamiento territorial y con ello, una preocupante falta de visión sustentable en su crecimiento. Es por esto que, a pesar de que representan un promedio

de 2.41% del área total de la RBCP para los años en estudio, sus dinámicas de crecimiento, las cuales responden a 196.6 hectáreas por año generan mayor impacto a los ecosistemas insertos en la RBCP.

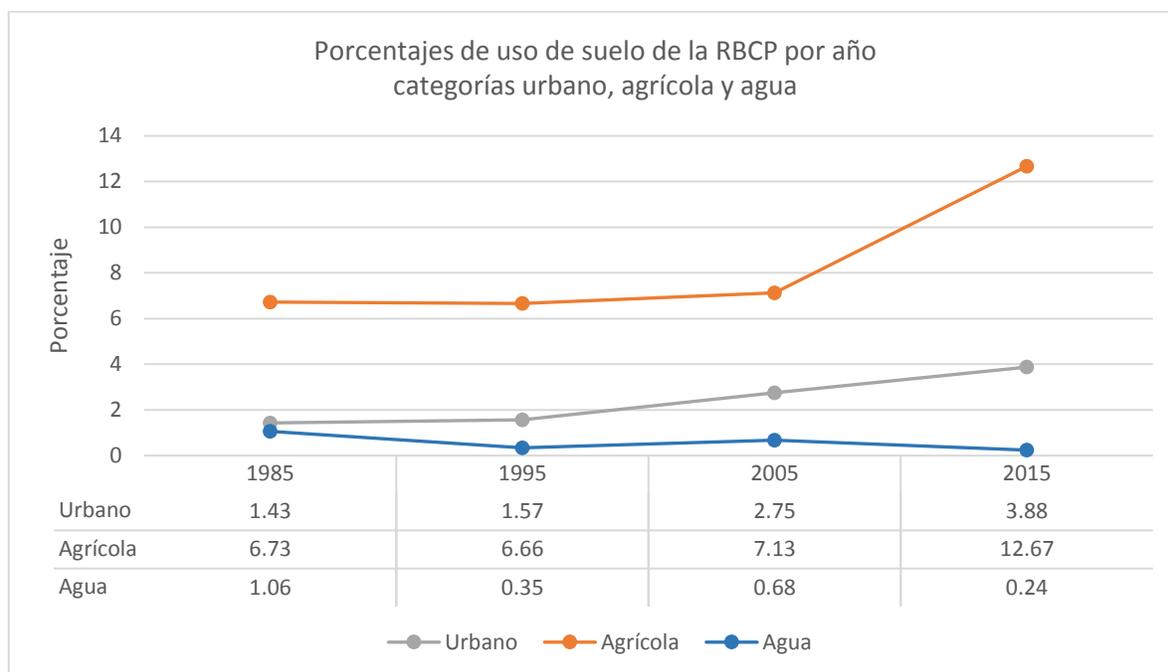


Gráfico 9: Porcentajes de uso de suelo de la RBCP por año para las categorías urbano, agrícola y agua. Elaboración del autor.

De esta misma forma, en los sectores más cercanos a lo rural, se ha visto potenciada una dinámica de segunda residencia que aporta de manera negativa a la fragmentación del patrimonio cultural, y pone constantemente en tensión la capacidad de carga de los ecosistemas, al concentrar grandes cantidades de población flotante durante poco tiempo y de manera recurrente. Estos efectos pendulares y fragmentarios, se han visto medianamente invisibilizados en este trabajo, principalmente por la escala, resolución y con ello el nivel de detalle para la detección de, por ejemplo, casas de segunda residencia insertas en el campo. Igualmente, para el abastecimiento de los asentamientos urbanos e industriales, se requiere la instalación de redes de alta tensión y antenas repetidoras principalmente, presentes en el área, al igual que la ampliación de rutas de mediana y alta velocidad (ver Imagen 13).



*Imagen 13: Antenas de alta tensión en Cuesta La Dormida, 17 km de Olmué hacia el este. Ruta F-10-G. Elaboración del autor*

Junto a lo declarado, las tendencias exportadoras del mercado agrícola en Chile, han llevado sus prácticas a explotar grandes extensiones de tierra bajo un cultivo de solo una especie vegetal, imposibilitando la regeneración natural del suelo, y con ello, la necesidad de utilizar agentes químicos para suministrar sucedáneo de nutrientes al suelo, o bien, utilizando semillas genéticamente modificadas que posean el potencial de adaptarse a condiciones adversas del suelo, entre otras características.

#### 3.4.2. Respecto al uso de suelo por zonas

El comportamiento del uso del suelo en las zonas de gestión de la RBCP se ha evidenciado de la siguiente manera:

##### 3.4.2.1. Zona núcleo:

Debido a la naturaleza de la zona y al ser la única con una figura legal reconocida por el estado chileno, las categorías urbano y agrícola se han mantenido muy bajas (0.1%) y nulas (0%), respectivamente (ver Tabla 6). A pesar de dicha estabilidad, en el caso de la categoría agua se ha

visto fuertemente impactada (ver Mapa 5), esta última al presentar una oscilación de su área del orden de un 10.7% para 1985; 1.7% para 1995; 6.3% para 2005 y 1.8% para el año 2015, atribuible a la fluctuación presentada por el lago peñuelas, principalmente. La categoría de uso de suelo pasó a ser mayoritariamente “sin vegetación”, durante el período 1985-1995 (ver Tabla 8).

La categoría bosque y matorral sigue la misma tendencia de la RBCP en general, sin embargo hay una mayor presencia porcentual de al menos 3 puntos para bosque y 9 puntos para matorral para el año 2015. El cambio de uso de suelo para dichas categorías va principalmente en que se mantienen como tal, sin embargo, en gran medida la categoría “sin vegetación” pasa matorral durante 1985-1995 y 2005-2015, mientras que se observa el efecto contrario durante el periodo 1995-2005. Dinámicas similares ocurren en la conversión de bosque a matorral durante el periodo 1995-2005, y de matorral a bosque durante los periodos 1985-1995 y 2005-2015 (ver Gráfico 10).

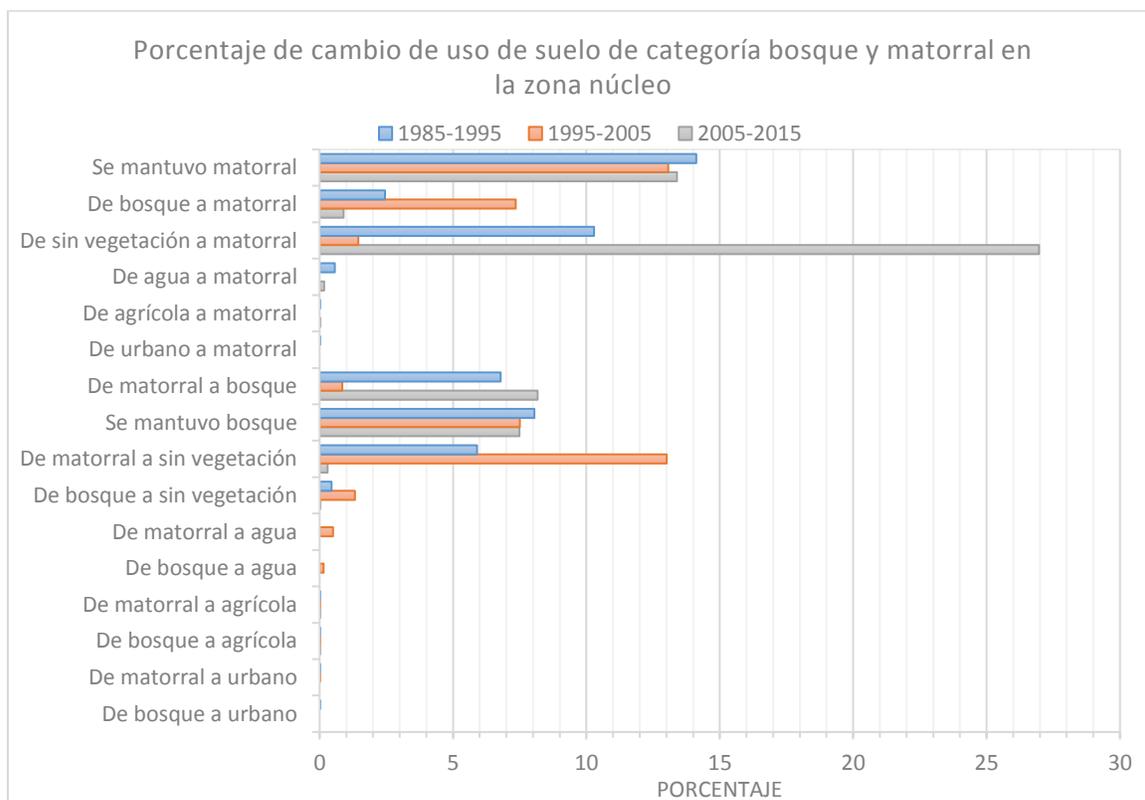


Gráfico 10: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría bosque y matorral en la zona núcleo. Elaboración del autor.

Destacar que la categoría sin vegetación se ve disminuida el 2015 en relación al primer año en estudio, y responde principalmente a las dinámicas de vegetación en el suelo, según lo expuesto.

### 3.4.2.2. Zona de amortiguación:

La categoría de uso de suelo urbano se mantiene en 0.8 % durante 1985 y 1995, se observa un leve crecimiento para el año siguiente, y fuertemente en el 2015, con un 2% del área total. La conversión del uso de suelo se mantuvo principalmente urbano, sin embargo, los grandes cambios se ven durante el periodo 2005-2015 en la conversión de sin vegetación a urbano y de agrícola a urbano (ver Gráfico 11).

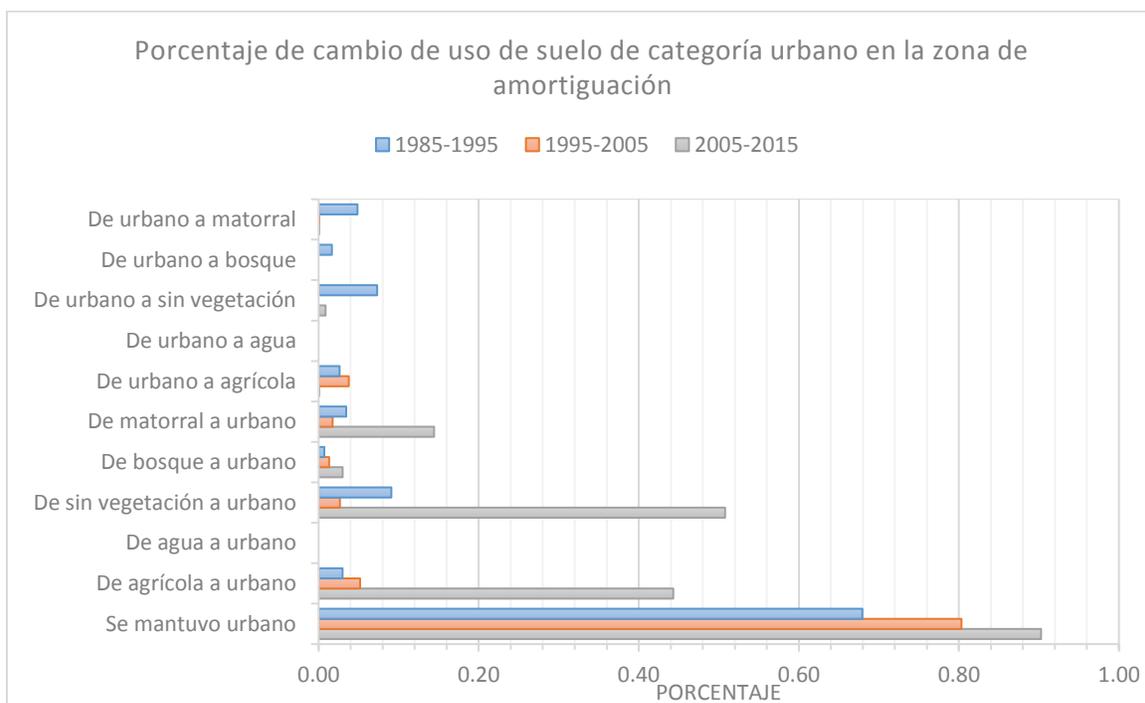


Gráfico 11: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría urbano en la zona de amortiguación. Elaboración del autor.

Similares dinámicas de crecimiento experimentó la categoría agrícola, la cual presentó un 1.8% del área total para 1985; 2% en 1995; 2.2% en 2005 y 3.1% para el año 2015. El crecimiento, en la práctica se trata de 700.72 a 1,236.55 hectáreas de 1985 a 2015, suelos que se mantuvieron

principalmente como agrícolas durante los tres periodos de comparación. Para el periodo 2005-2015 el suelo sin vegetación se convierte en agrícola y hay suelos agrícolas que se convierten en urbano. Para los tres periodos, la conversión agrícola-matorral fuere recíproca, pero levemente mayor en el caso matorral a agrícola (ver Gráfico 12).

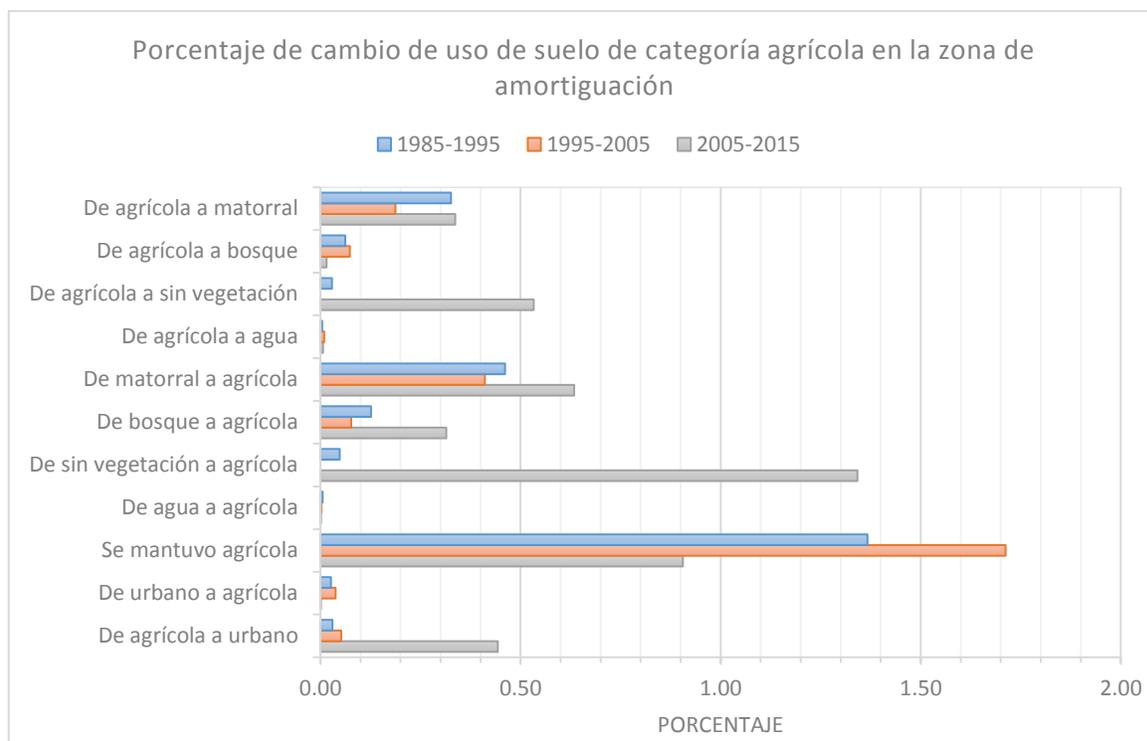


Gráfico 12: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría agrícola en la zona de amortiguación. Elaboración del autor.

En cuanto a la categoría agua, se observa una baja presencia y una disminución de la misma, de igual manera, los cambios experimentados por esta categoría no fueron sustanciales para esta zona. Por otro lado, la mayor presencia en la zona de amortiguación es de la categoría sin vegetación, la cual en términos de conversión, se mantuvo como tal, con porcentaje de área total que va de un 49.9% en 1985; 46.7% en 1995; 60.1% en 2005 y un 31.1% en el año 2015, en promedio 18,183.97 hectáreas para los cuatro años. Luego de la conversión declarada, el suelo sin vegetación cambia a matorral principalmente durante los periodos 1985-1995 y 2005-2015, al mismo tiempo que hubo

conversión de matorral a sin vegetación primordialmente durante el periodo 1995-2005 (ver Gráfico 13).

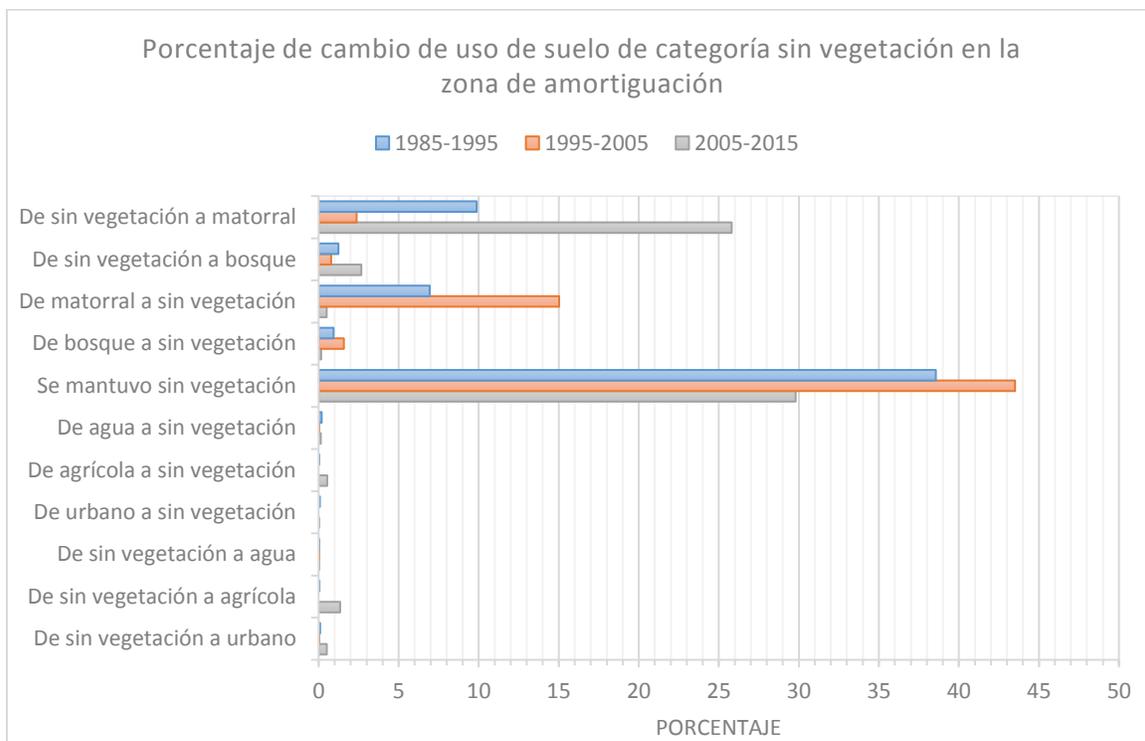


Gráfico 13: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría sin vegetación en la zona de amortiguación. Elaboración del autor.

En cuanto a las categorías correspondiente a la vegetación aumenta, sin embargo ambas bosque y matorral, presentan una disminución durante el año 2005, y las dinámicas varían respecto a la conversión de suelo sin vegetación a matorral y bosque y viceversa, al igual que de matorral a bosque.

#### 3.4.2.3. Zona de transición:

La categoría urbano presenta un crecimiento importante respecto al primer año de monitoreo. La presencia de este uso de suelo va desde un 1.6% del área de la zona para el año 1985; 1.8% para 1995; 3.3% en 2005 y 4.5% para el año 2015. En términos de conversión del uso del suelo, lo principal es la mantención del uso, principalmente durante el periodo 2005-2015. Seguido a lo anterior y en

menores proporciones, se observa un cambio de uso de suelo de agrícola a urbano durante los periodos 1995-2005 y 2005-2015. Igualmente, el suelo matorral cambia a urbano en mayor porcentaje durante el periodo 1995-2005, al igual que de bosque a urbano (ver Gráfico 14).

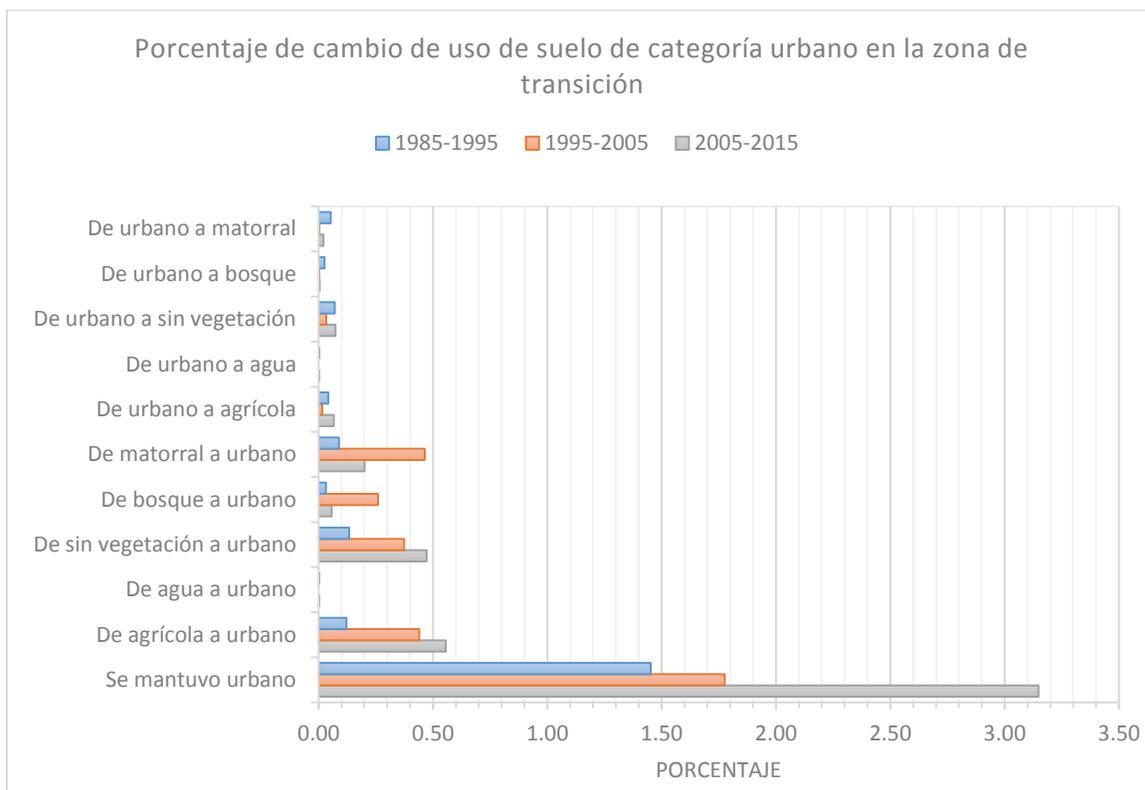


Gráfico 14: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría urbano en la zona de transición. Elaboración del autor.

En cuanto a la categoría agrícola, se observa una dinámica interesante que no ocurre en otras zonas o categorías. Durante los años 1985, 1995 y 2005, el área varía decimales respecto al 8%, y se observa un gran incremento en el año 2015, de un 15.6%, lo que en la práctica se traduce en una transición de 15,501.62 a 29,296.24 hectáreas. Principalmente el suelo agrícola se mantiene agrícola por sobre el 5% en los tres periodos. Durante el periodo 2005-2015, se observa que las categorías sin vegetación, bosque y matorral cambian a uso de suelo agrícola por sobre el 2.5%. Para las últimas dos, presentan un crecimiento respecto a la misma dinámica sobre los periodos 1985-1995 y 2005-

2015. De suelo agrícola a matorral experimentó un cambio decreciente respecto a los tres periodos (ver Gráfico 15).

En cuanto a la categoría de agua, disminuye desde el 0.5% en 1985, 0.3% para los años 1995 y 2005, y 0.2% en el año 2015. En esta zona se encuentran los embalses presentes en la RBCP, los mismos se pueden ver en decrecimiento en el Mapa 5. El agua por lo general se mantiene en su uso de suelo, principalmente en el periodo 1995-2005, sin embargo se observa una fluctuación desde los suelos sin vegetación a agua y viceversa. Se observa en menor medida conversiones hacia bosque y matorral y desde y hacia los suelos agrícolas (ver Gráfico 16).

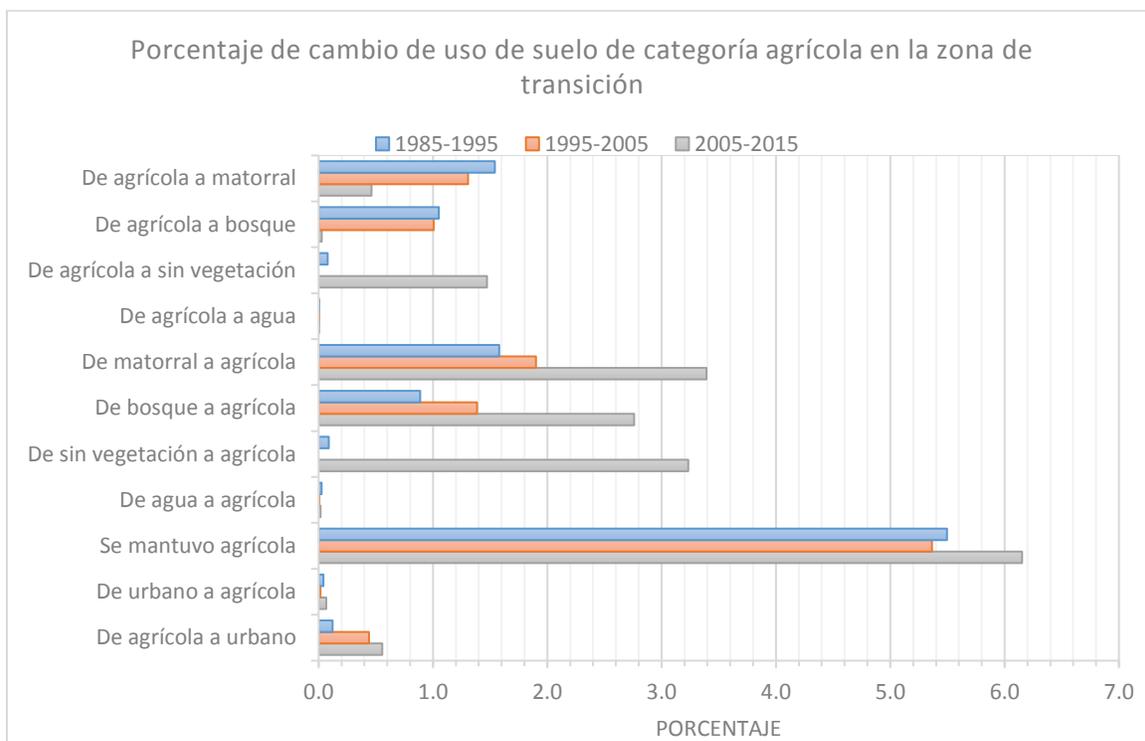


Gráfico 15: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría agrícola en la zona de transición. Elaboración del autor.

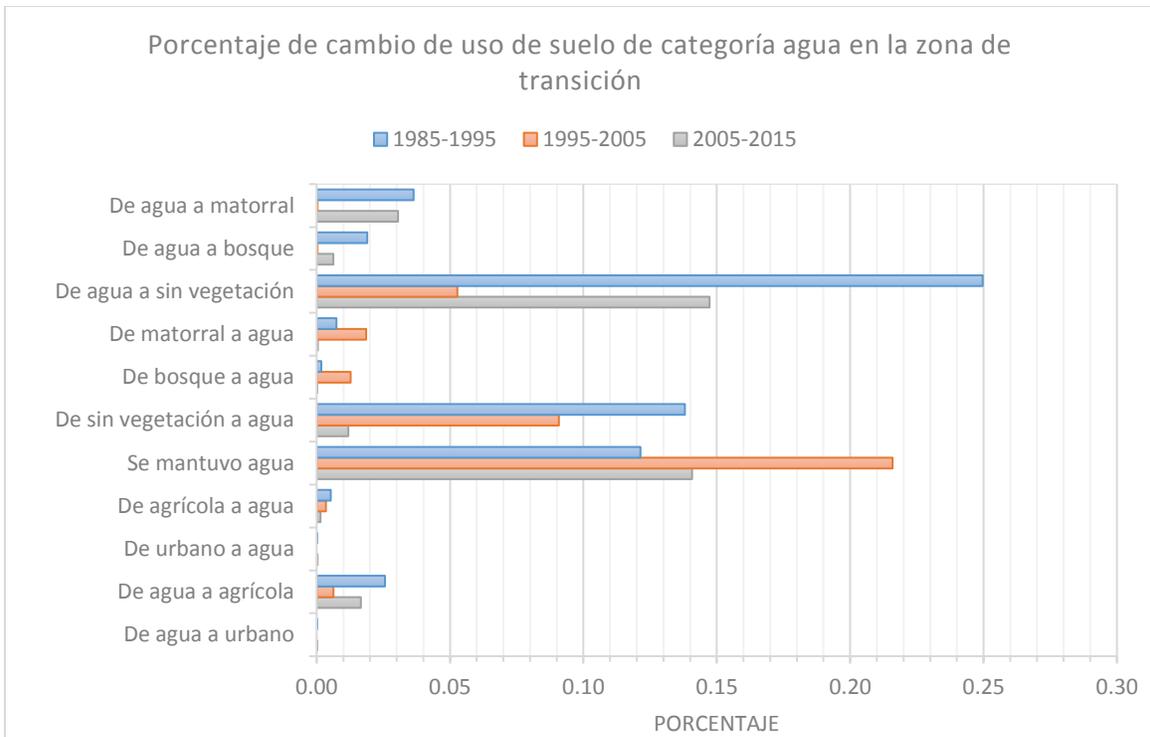


Gráfico 16: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría agua en la zona de transición. Elaboración del autor.

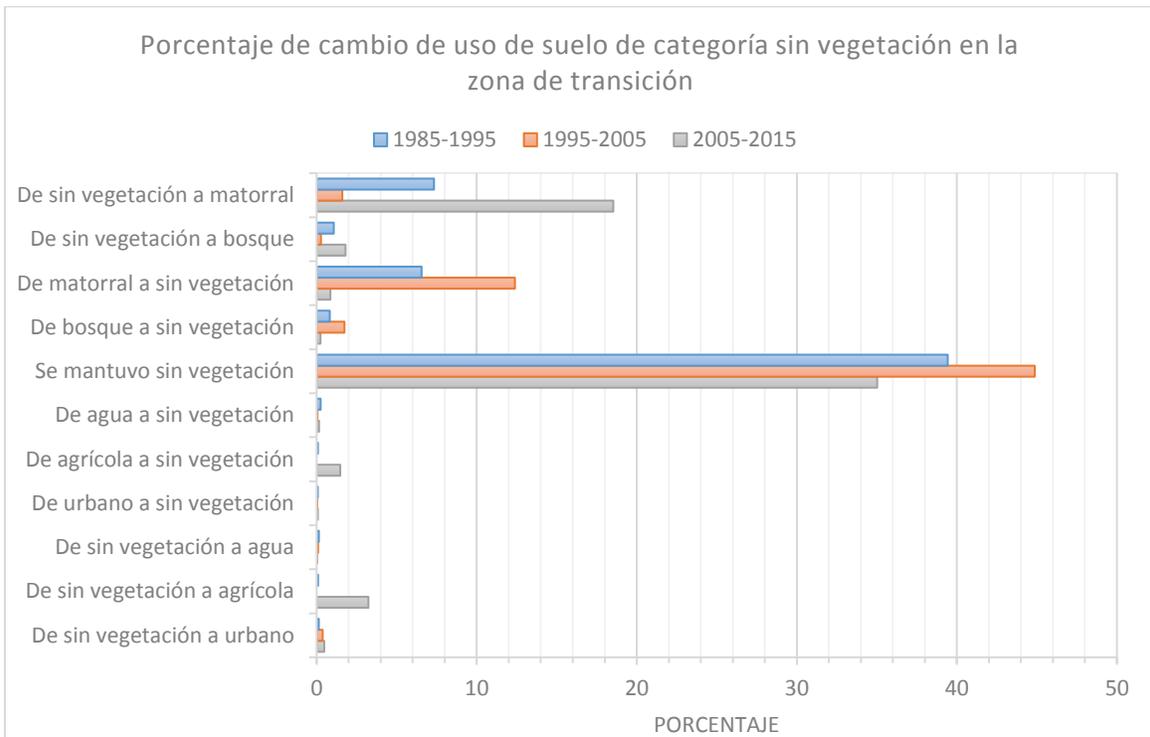


Gráfico 17: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría sin vegetación en la zona de transición. Elaboración del autor.

El uso de suelo sin vegetación mantiene las dinámicas descritas en la zona núcleo y de amortiguación, para el año 1985 se detecta un 48.2%; para 1995 un 47.2%; para 2005 un 59.1% y un 37.7% para el año 2015. En general, el suelo se mantiene sin vegetación, sin embargo la transición desde y hacia al matorral, en el periodo 1985-1995 y 1995-2005 y, 1985-1995 y 2005-2015, respectivamente (ver Gráfico 17).

En cuanto al uso de suelo de bosque, presenta un crecimiento en los dos primeros años que va de un 14.9% en 1985 a 15.7% en el año 1995. De dicho crecimiento, se observa una baja del área boscosa durante el año 2005 de un 9.8% el cual evoluciona hacia un 12.3% en el año 2015. El suelo se mantiene en su mayoría como bosque, sin embargo, se observa una oscilación entre el suelo matorral a bosque y viceversa (ver Gráfico 18).

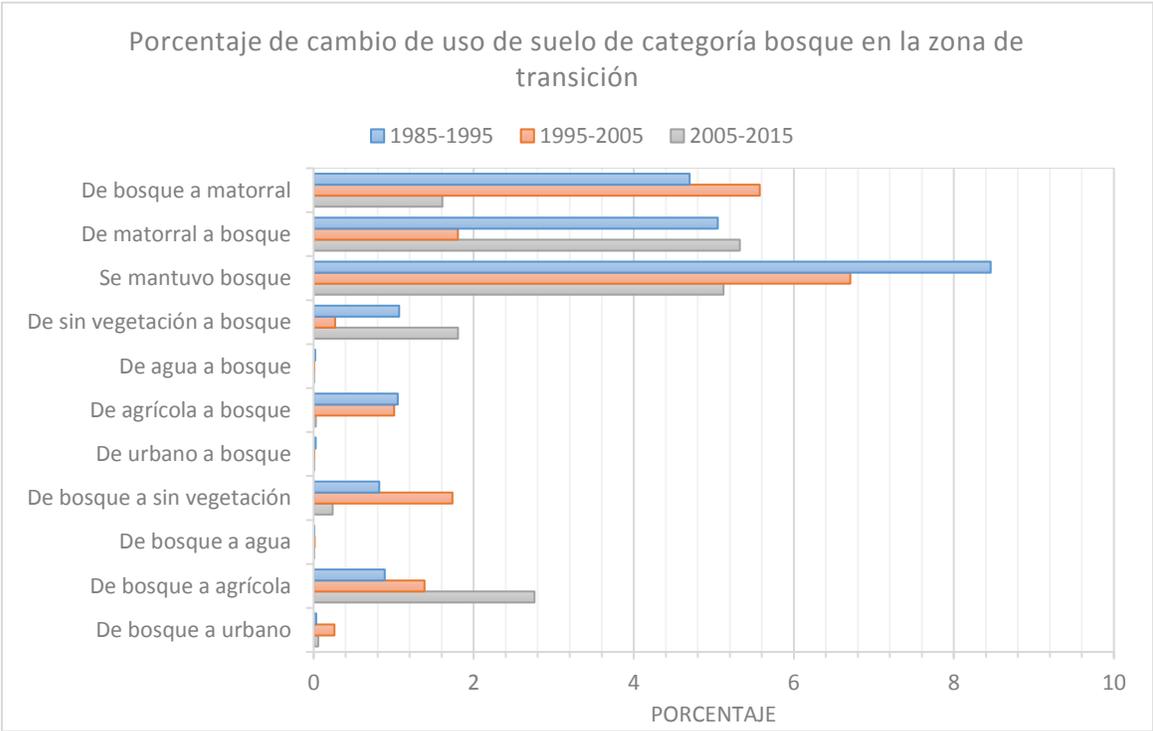


Gráfico 18: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría bosque en la zona de transición. Elaboración del autor

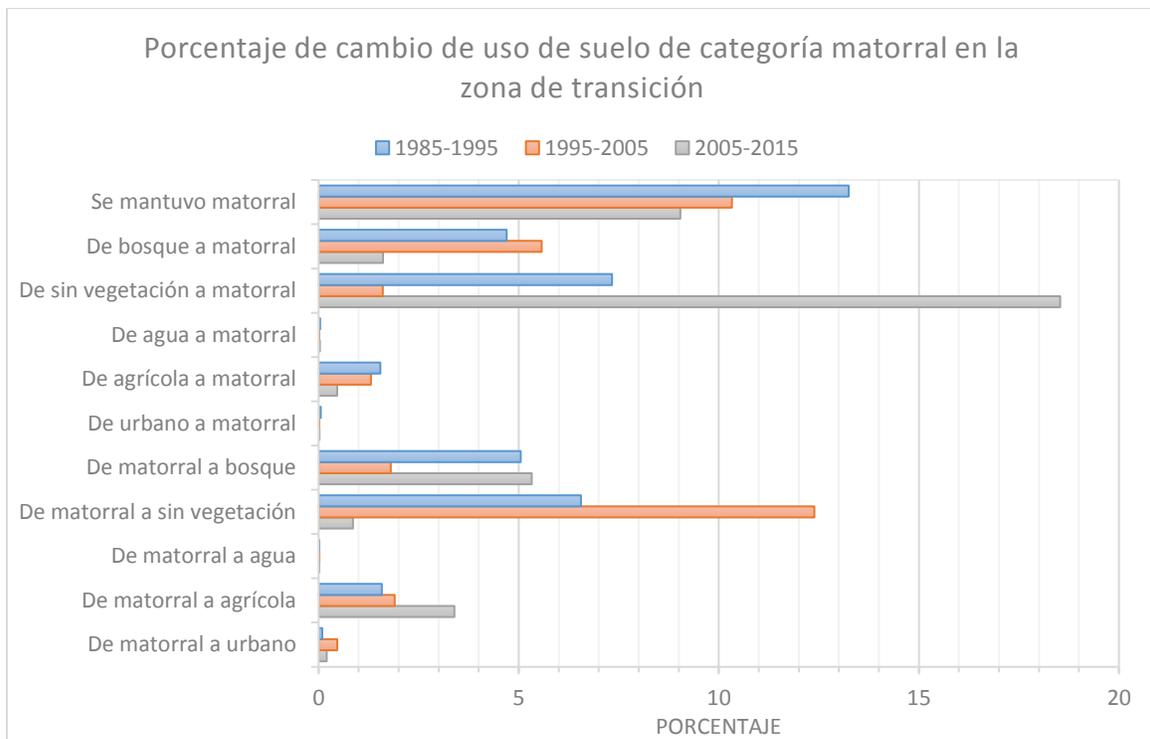


Gráfico 19: Porcentaje de cambio de uso de suelo de categoría matorral en la zona de transición. Elaboración del autor.

Por último, señalar que la categoría matorral fluctúa levemente durante los años 1985 y 1995, sobre el 26% del área de la zona. Durante el año 2005, existió una baja del orden de un 18.8%, para en el año 2015 volver a niveles de los primeros años, con un 29.7%, lo cual representan 55,722.1 hectáreas. De manera más constante, el suelo se mantiene como matorral durante los tres periodos. Se detectan dos dinámicas bidireccionales, bosque-matorral y sin vegetación-matorral (ver Gráfico 19).

### 3.4.3. Respecto a la coherencia con el plan de gestión RBCP

De acuerdo a lo estipulado en el plan de gestión de la RBCP, declarados en el punto “1.4.1 Sobre el plan de gestión de la RBCP”, el documento se erige a partir de los objetivos de la estrategia de Sevilla, de los cuales, seis sub-objetivos poseen competencia respecto a los intereses del presente estudio, estos son:

- a.** Utilizar las Reservas de la Biosfera (RB) para la conservación de la diversidad biológica natural y cultural
  - i) Mejorar la cobertura de la diversidad natural y cultural
  - ii) Integrar las Reservas de Biosfera en el planeamiento de la conservación
- b.** Utilizar las RB como modelo en la ordenación del territorio y lugares de experimentación del desarrollo sostenible
  - ii) Lograr un ajuste armonioso entre las distintas zonas de la reserva y sus interacciones
  - iii) Integrar las RB en el planeamiento regional
- c.** Utilizar las Reservas de Biosfera para la investigación, la observación permanente, la educación y la capacitación
  - i) Ampliar el conocimiento de las interacciones entre los seres humanos y la biosfera
- d.** Aplicar el concepto de Reserva de Biosfera
  - i) Integrar las funciones de las Reservas de Biosfera

A partir del estudio realizado, considerando las características y condicionantes del mismo, es posible señalar que (a.i.) no se ha mejorado la cobertura de la diversidad natural, y no hay indicios sobre la mejoría en la cobertura de la diversidad cultural. (a.ii) No se ha logrado integrar la RBCP en el planeamiento de la conservación más allá de sus zonas núcleo. En términos de un ajuste armonioso (b.ii.), se debe indicar que la imprecisión del concepto llevaría a dirimir sobre la distribución del uso de suelo (ver Mapa 9) y el desarrollo de prácticas sustentables, las cuales no son las que destacan en este caso. (b.iii.) La RBCP no forma parte de las estrategias regionales de planificación de manera explícita. Según se evidencia, y dada la falta de información que motiva este caso de estudio, (c.i.) el conocimiento entre las interacciones humano-biosfera es restringido. Por último, es posible vincular el el sub-objetivo “d.i.” a las funciones de las reservas de la biosfera, acotadas al caso de la RBCP y a los ejes de acción del programa MAB-Unesco. En términos de líneas

de acción, en la RBCP (1) no se reduce al mínimo la pérdida de biodiversidad a través de la investigación y la creación de capacidades en materia de gestión, (2) no se promueve la sustentabilidad del medio ambiente y, (3) no se fortalecen los vínculos entre la diversidad cultural y la diversidad biológica.

Al mismo tiempo, se debe destacar que el sub-objetivo “(d.i.) Integrar las funciones de las Reservas de Biosfera” no se cumple, principalmente a que sí existe (1) conservación para proteger los recursos genéticos, especies, ecosistemas y paisajes, la cual se encuentra someramente vinculada al (2) apoyo logístico para respaldar y alentar actividades de investigación (marcado por proyectos financiados por el estado con caducidad definida al corto plazo), de educación, de formación y de observación permanente relacionadas con las actividades de interés local, nacional y mundial encaminadas a la conservación y el desarrollo sostenible. Sin embargo, no se observa un desarrollo que busque promover el desarrollo económico y humano desde una perspectiva sostenible, por el contrario, el presente estudio entrega evidencias de una situación contraria.

En términos de objetivos propios del plan de gestión de la RBCP, se encuentra competente para los efectos del presente trabajo, el siguiente objetivo, línea de acción y actividades:

15. Promover la realización de actividades productivas y servicios ambientales asociados, de manera sustentable en el territorio de la RB

a. Propender a la máxima reducción de las actividades contaminantes o degradadoras del medio ambiente

(3) Elaborar y ejecutar una estrategia para disminuir la presión de las actividades urbanas sobre el hábitat de las especies de flora y fauna endémica y/o con problemas de conservación.

Respecto a lo anterior, se debe mencionar que hasta el año 2015, han sido las actividades urbanas, y con ello también las actividades industriales, las cuales general mayor impacto en el cambio de uso de suelo, según lo analizado con anterioridad.

## V. Discusión

La toma de conciencia mundial sobre el carácter finito de los recursos naturales, ha situado en la mesa de diversos actores sociales la necesidad de encontrar una vía de desarrollo que permita mejorar la calidad de vida humana sin sobrecargar los ecosistemas (Montero-Peña, 2003). Esta toma de conciencia conduce a una paradoja en la cual vivimos hoy, donde se puede constatar que la aceleración del crecimiento económico, en los últimos tiempos, va de la mano con la desaceleración del desarrollo: mientras se mejoran los índices macroeconómicos, vemos deteriorar los indicadores que miden evoluciones cualitativas entre sectores, territorios y personas (Boisier, 1997 en Guimarães, 2001).

En este aspecto, la Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas intenta instalarse desde el paradigma sustentable como un dispositivo territorial, que aborde desafíos actuales y futuros respecto al ecosistema. Estos modelos atractivos de gestión de los territorios, señalan Bonnin & Velut (2008), tienen a veces dificultades para ser efectivos a causa de la dificultad para institucionalizarlos, en particular, porque deben articularse con los dispositivos existentes. Respecto a ello, el hecho de que la RBCP sea planteada desde la imposibilidad de ser reconocido como figura legal en Chile, e intentar vincularse a un inexistente marco de ordenamiento territorial, desencadena en que los esfuerzos destinados a la postulación y conservación de este territorio, responda solo a intereses de la “mercadotecnia territorial”, desprotegiendo los objetivos y funciones principales de las reservas de la biosfera. El concepto de *marketing* territorial, definido por Manschwetus (1995 en F. F. Borsdorf, 2013) es un “...concepto de control orientado al mercado,

el cual se utiliza para el desarrollo de una región. La idea central del marketing regional es la construcción de una relación entre la región y los socios del mercado...”, es decir, desde las interacciones mercantiles potenciar el desarrollo de los territorios, idea que en este estudio carece de cualquier sustento lógico. El hecho que no exista ningún tipo de letrero o anuncio sobre estar dentro de la RBCP, es el primer indicio y el más claro de que la figura de reserva de la biosfera funciona aparentemente como un *Green washing* regional.

Según los vicios propios del quehacer panificador del estado de Chile, se debe destacar que gran parte del área de la RBCP corresponde a territorios rurales, los cuales han sido constantemente explotados, descontextualizados y abandonados en términos de planificación, mirando constantemente a lo urbano. Sin ir más lejos, lo consignan Moreira-Muñoz & Salazar (2014), que el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) nacional, tal como se encuentra organizado hasta hoy, evalúa los proyectos en forma aislada sin tomar en cuenta su contexto ambiental y territorial regional, y los efectos sinérgicos que podrían llegar a tener. Lo anterior identifica la posibilidad de aprobar proyectos sin tener en consideración los contextos locales, y mucho menos regional, lo cual afecta directamente los intereses teóricos de la RBCP. Son los mismos autores quienes se encargan de entroncar la discusión, declarando lo evidente pero no siempre considerado: “...cada región tiene distintos requerimientos y desafíos en cuanto a los valores biológicos, amenazas, necesidades de restauración, y propuestas de desarrollo...”. Esto lo mencionan debido a que se debe tener en cuenta que en términos de requerimientos de los territorios, “...los énfasis no pueden ser puestos solamente en las zonas núcleo (de preservación exclusiva) que son las menos intervenidas, sino especialmente en las zonas de amortiguación que aún poseen un enorme valor de biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos (Moreira-Muñoz & Salazar, 2014).

## VI. Conclusiones finales

El presente caso de estudio aporta antecedentes para los procesos retroalimentación y evaluación de procesos de gestión de la RBCP. Se pone en valor el vínculo entre una perspectiva crítica sobre las prácticas ambientales desde las lógicas neoclásicas del mercado, con metodologías cuantitativas de teledetección aplicada, que debido a la baja complejidad de las mismas, permitiría ser replicada e incorporada a procesos de monitoreo territorial y evaluación de cambios de uso de suelo.

Dado los antecedentes, es preciso desarrollar en profundidad una evaluación del cumplimiento de los objetivos planteados en el plan de gestión de la RBCP y fundamentos de la misma. Sin duda la figura de Reserva de la Biosfera puede representar avances concretos hacia cambios en la conciencia y dinámicas sobre las cuales se monta nuestro actual sistema socioeconómico. Para ello, es necesario definir y adoptar conceptos claros sobre sustentabilidad, armonía, cobertura y conservación. Se deben implementar herramientas que permitan el levantamiento continuo de información relevante, y tener equipos a cargo de la gestión y monitoreo de la Reserva.

## VII. Referencias bibliográficas

- Abd El-Kawy, O. R., Rød, J. K., Ismail, H. A., & Suliman, A. S. (2011). Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography*, 31(2), 483–494. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.10.012>
- Abuelaish, B., & Olmedo, M. T. C. (2016). Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4). <http://doi.org/10.1007/s12517-015-2292-7>
- Bonnin, M., & Velut, S. (2008). La contribución del concepto de Reserva de la Biosfera al desarrollo sustentable. Un enfoque comparado Francia-Chile. In V. Duran, S. Montenegro, & P. Moraga (Eds.), *IV Jornadas de derecho ambiental* (pp. 167–184). Santiago de Chile: HAL archives-ouvertes. Retrieved from <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00432202>
- Borsdorf, A., & Araya-Rosas, P. (2014). El modelo de Reservas de la Biosfera: conceptos, características e importancia. In A. Moreira-Muñoz & A. Borsdorf (Eds.), *Reservas de la biosfera de Chile. Laboratorios para la sustentabilidad* (p. 322). Axams, Austria: GEOlibros.
- Borsdorf, A., Mergili, M., & Ortega, L. A. (2013). La Reserva de la Biósfera Cinturón Andino, Colombia. ¿Una región modelo de estrategias de adaptación al cambio climático y el desarrollo regional sustentable? *Revista de Geografía Norte Grande*, 18(55), 7–18.
- Borsdorf, F. F. (2013). El capital social como recurso de innovación para la gestión regional en grandes áreas protegidas . La Reserva de la Biósfera Großes Walsertal. *Revista de Geografía Norte Grande*, 66, 55–66.
- Calcagni, R., & Strappa, B. (2011). *Plano Regulador Intercomunal RBA. Una estrategia para la sustentabilidad de los Andes de La Araucanía*. Temuco, Chile. Retrieved from <http://www.rbaraucarias.cl/wp-content/uploads/2012/10/PRI-RBA-sustentabilidad-de-los-Andes-de-la-Araucanía.pdf>
- Comité técnico interministerial. Política Nacional de Desarrollo Rural 2014 2024, Gobierno de Chile 41 (2014). Santiago de Chile.
- CONAF. (2015). Viajes educativos Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas. Retrieved from <http://www.conaf.cl/RBCP/g-olmue.html>
- Coppin, L., & Morales, S. (2013). Aprendizajes en el marco de las reservas de la biósfera. Una propuesta para el turismo en La Campana - Peñuelas. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 48, 89–105.
- Córdoba, M. (2012). Biopolítica y Reservas de la Biosfera: espacios de (in)movilidad y conflicto. Una mirada etnográfica. *Política Y Sociedad*, 49(3), 519–532. [http://doi.org/10.5209/rev\\_POSO.2012.v49.n3.38548](http://doi.org/10.5209/rev_POSO.2012.v49.n3.38548)
- Du, P., Li, X., Cao, W., Luo, Y., & Zhang, H. (2010). Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. *Mining Science and Technology*, 20(6), 922–932. [http://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60308-2](http://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60308-2)
- Elórtegui-Francioli, S., & Moreira-Muñoz, A. (Eds.). (2002). *Parque nacional La Campana. Origen de una reserva de la biosfera en Chile central*. Santiago de Chile: Taller La Era.

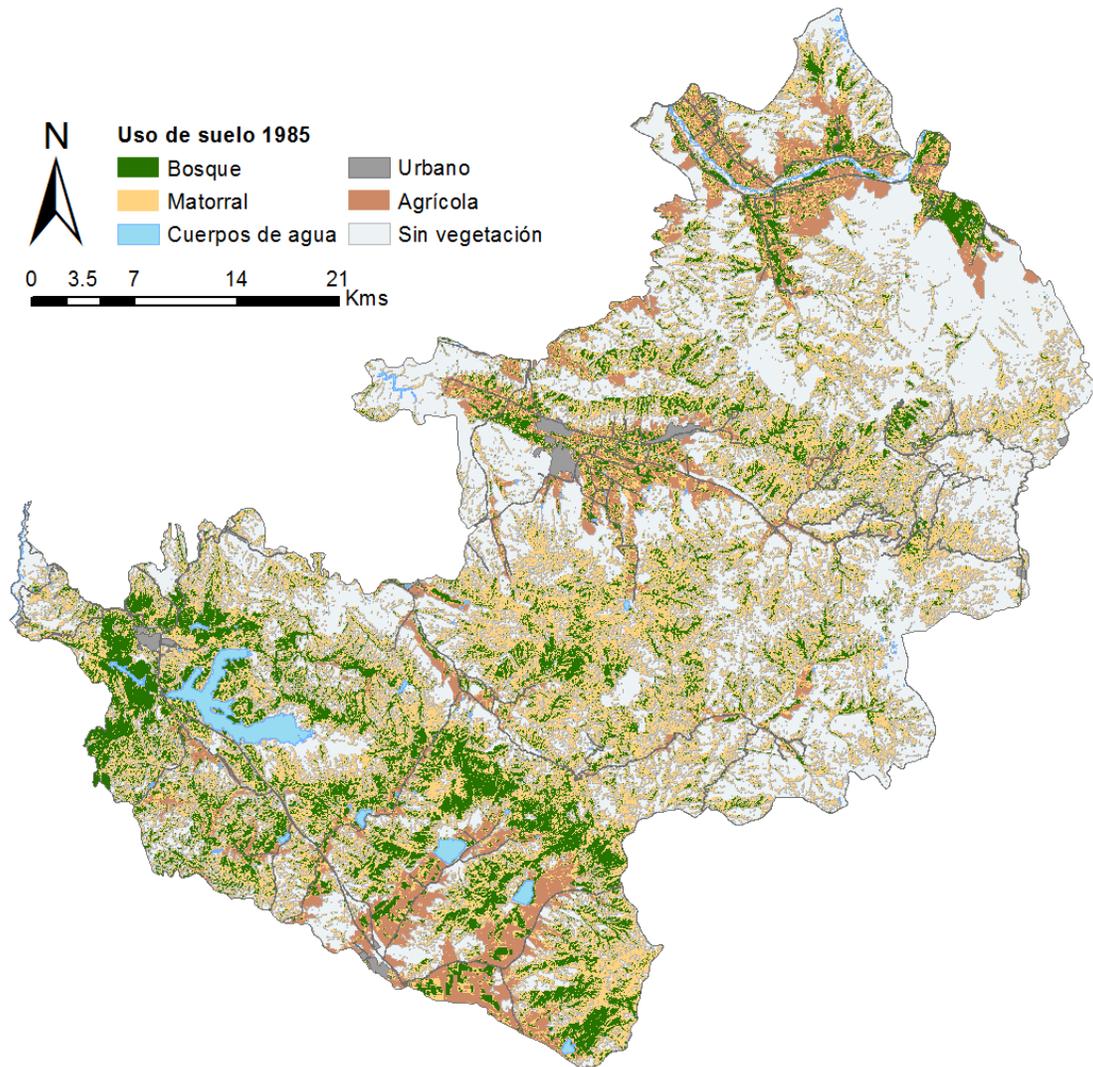
- Figueroa, R., Negrete, J., Fuenzalida, M., Allesch, R., Inostroza, J., & Cosio, F. (2012). Desarrollo de nuevas rutas para la Reserva de la Biósfera La Campana-Peñuelas. Un nuevo destino de turismo para la Región de Valparaíso. Chile. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 46, 16–25.
- Fuenzalida, M., Figueroa, R., & Negrete, J. (2013). Evaluación de la aptitud territorial para el turismo de naturaleza y rural. Reserva de la Biosfera La Campana - Lago Peñuelas, Chile. *Estudios Y Perspectivas En turismo*2, 22(1), 120–137.
- García-Gil, G., March-Mifsut, I., & Castillo-Santiago, M. Á. (2001). Transformacion de la vegetacion por cambios de uso de suelo en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. *Investigacion Geografica*, 46(2), 45–57.
- Gobierno Regional de Valparaíso. (2009). *Plan de Gestión Reserva de Biosfera La Campana – Peñuelas (2009 - 2013)*. Valparaíso, Chile.
- Guimarães, R. (2001). *Fundamentos territoriales y biorregionales de la planificación*. Santiago de Chile. Retrieved from <http://archivo.cepal.org/pdfs/2001/S01060532.pdf>
- Halffter, G. (2011). Reservas de la biosfera: problemas y oportunidades en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 27(1), 177–189.
- Hasegawa, T., Fujimori, S., Ito, A., Takahashi, K., & Masui, T. (2016). Global land-use allocation model linked to an integrated assessment model. *Science of The Total Environment*. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.025>
- Hauenstein, E., Muñoz-Pedrerros, A., Yáñez, J., Sánchez, P., Möller, P., Guiñez, B., & Gil, C. (2009). Flora y vegetación de la Reserva Nacional Lago Peñuelas, Reserva de la Biósfera, Región de Valparaíso, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 30(3), 159–179. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002009000300006>
- Hosseinali, F., Alesheikh, A. A., & Nourian, F. (2014). Assessing urban land-use development: Developing an agent-based model. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(1), 285–295. <http://doi.org/10.1007/s12205-012-0367-5>
- Intendencia Región de Valparaíso. Resolución exenta n°4/2924 (2011). Valparaíso, Chile: Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Retrieved from <http://www.interior.gob.cl/transparencia/doc/VinculosInstitucionales/600/10493.pdf>
- Islam, M. R., Miah, M. G., & Inoue, Y. (2014). Analysis of Land Use and Land Cover Changes in the Coastal Area of Bangladesh Using Landsat Imagery. *Land Degradation & Development*, 81(March), n/a–n/a. <http://doi.org/10.1002/ldr.2339>
- Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sandoval, J. S. O., & Maimaitiyiming, M. (2015). Drivers of land cover and land use changes in St. Louis metropolitan area over the past 40 years characterized by remote sensing and census population data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 161–174. <http://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.020>
- Ministerio de Agricultura. Ley 18362. Crea un Sistema Nacional de áreas silvestres protegidas del Estado (1984). Santiago de Chile: Junta de Gobierno de la República de Chile. Retrieved from <https://www.leychile.cl/N?i=29777&f=2014-10-10&p=>
- Ministerio de Planificación. (2004). *Zonificación para la Planificación Territorial* (No. Cuaderno 1).

- Santiago de Chile. Retrieved from <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/btca/txtcompleto/mideplan/cuad1-zon.planterrit.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). *Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Chile ante el convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)*. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.
- Mirzaei, M., Solgi, E., & Salmanmahiny, A. (2016). Assessment of impacts of land use changes on surface water using L-THIA model (case study: Zayandehrud river basin). *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12), 690. <http://doi.org/10.1007/s10661-016-5705-5>
- Montero-Peña, J. M. (2003). ¿Es posible el desarrollo sustentable en la minería? *Minería Y Geología*, 19(1/2), 89–93. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=18416749&lang=es&site=ehost-live>
- Moreira-Muñoz, A., & Salazar, A. (2014). Reserva de la Biosfera La Campana - Peñuelas: micro-región modelo para la planificación del desarrollo regional sustentable. In A. Moreira-Muñoz & A. Borsdorf (Eds.), *Reservas de la biosfera de Chile. Laboratorios para la sustentabilidad* (p. 322). Axams, Austria.
- Negrete, J., Figueroa, R., & Velut, S. (2010). La zona de extensión de la reserva de la biosfera La Campana - Peñuelas. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 23(2010), 1–14.
- Peralta-Rivero, C., Torrico-Albino, J. C., Vos, V. A., Galindo-Mendoza, M. G., & Contreras-Servín, C. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología En Bolivia*, 50(2), 91–114. Retrieved from [file:///scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1605-25282015000200003&lang=pt](file:///scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282015000200003&lang=pt)
- Pineda Jaimes, N., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., & Plata Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 69, 33–52. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112009000200004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004)
- Reyes Hernández, H., Aguilar Robledo, M., Aguirre Ribera, J. R., & Trejo Vázquez, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área Land cover and land use change in the Pujal-Coy project area, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas*, (59), 26–42.
- Reynoso Santos, R., Valdez Lazalde, J. R., Escalona Maurice, M. J., de los Santos Posadas, H. M., & Pérez Hernández, M. J. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, 37(1), 72–81. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=113195823&lang=es&site=eds-live>
- Roca, J. J. (2010). *Taller de difusión: Ordenamiento territorial para el desarrollo sostenible*. Casablanca, Chile. Retrieved from [http://atlasflacma.weebly.com/uploads/5/0/5/0/5050016/resumen\\_ordenamiento\\_territorial\\_en\\_chile\\_marco\\_legal\\_y\\_normativo\\_vigente.pdf](http://atlasflacma.weebly.com/uploads/5/0/5/0/5050016/resumen_ordenamiento_territorial_en_chile_marco_legal_y_normativo_vigente.pdf)

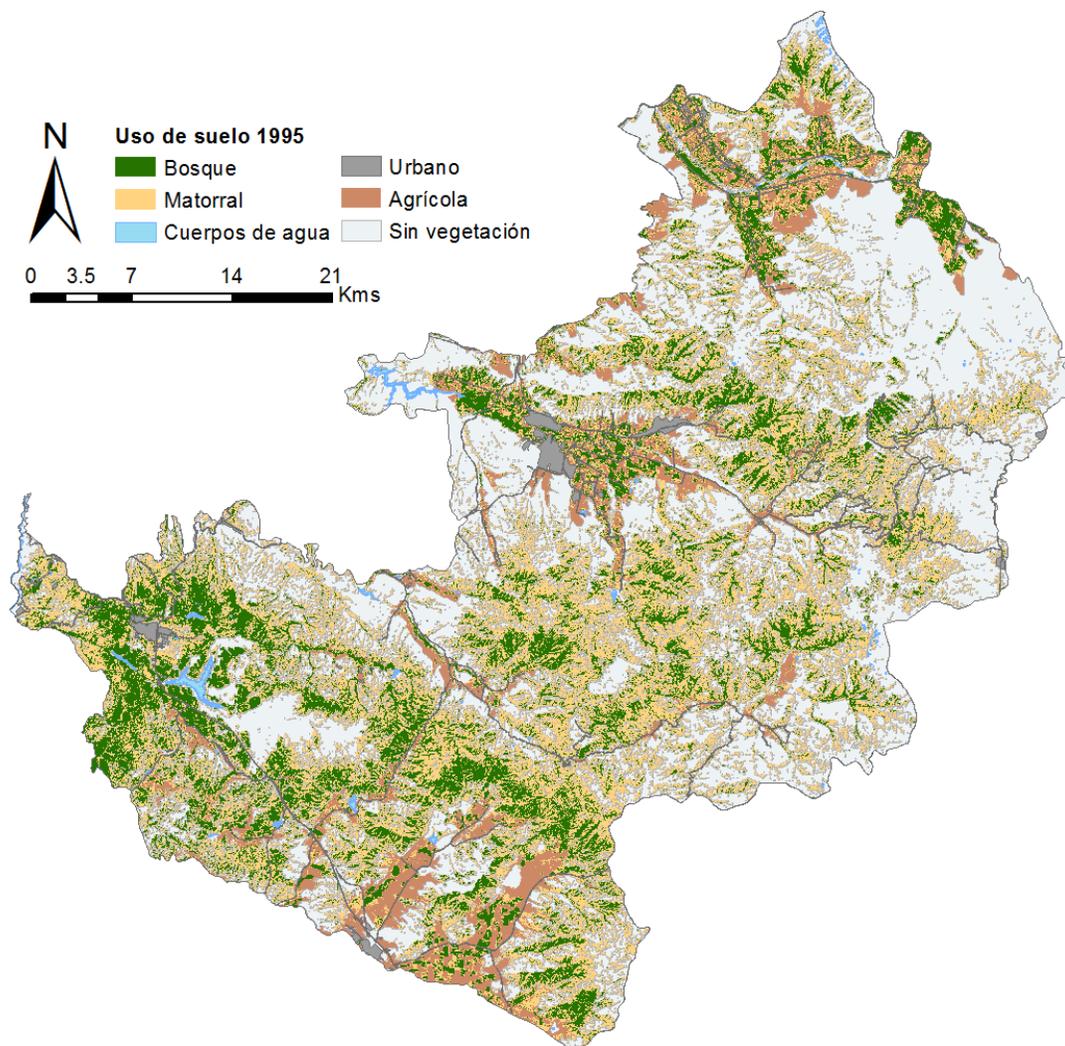
- Sahagún-Sánchez, F. J. (2012). *Dinámica espacio-temporal de las transformaciones en la cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí y sus efectos potenciales sobre la distribución de la avifauna*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Schreiner, G. de M., Armanini, C., & Palma, C. (2015). Criteria definition for delimiting a buffer zone to a biosphere reserve in southern Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 10(1), 21–30. <http://doi.org/10.4013/nbc.2015.101.04>
- Shih, H., Stow, D. A., Weeks, J. R., & Coulter, L. L. (2015). Determining the Type and Starting Time of Land Cover and Land Use Change in Southern Ghana Based on Discrete Analysis of Dense Landsat Image Time Series. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(5), 1–10. <http://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2504371>
- Son, N. T., Thanh, B. X., & da, C. T. (2016). Monitoring Mangrove Forest Changes from Multi-temporal Landsat Data in Can Gio Biosphere Reserve, Vietnam. *Wetlands*, 1–12. <http://doi.org/10.1007/s13157-016-0767-2>
- Soto Bäuerle, M. V., Arriagada González, J., Castro Correa, C. P., Maerker, M., & Rodolfi, G. (2011). Relación entre el cambio de uso del suelo en la cuenca del Aconcagua y su litoral arenoso correlativo: Chile central. *Revista de Geografía Norte Grande*, 202(50), 187–202. <http://doi.org/10.4067/S0718-34022011000300011>
- Tepox, A. T., Alberto, L., Manzo, V., Ramírez, B., Antonio, E., Domínguez, G., & Tlapa, M. (2016). Análisis de los cambios y la persistencia en los usos del suelo de 1958 a 2010 en el municipio de Cuautlancingo, Puebla, México. *Ambiente Y Desarrollo*, XX(39), 35–54. <http://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-39.acpu>
- UNESCO. (1996). *Reservas de biósfera. La estrategia de Sevilla y el marco estatutario de la red mundial*. Paris, France.
- Walker, R. T., & Solecki, W. D. (1999). Managing Land Use and Land-Cover Change: The New Jersey Pinelands Biosphere Reserve. *Annals of the Association of American Geographers*, 89(2), 220–237. <http://doi.org/10.1111/1467-8306.00143>
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <http://doi.org/10.1080/01431160600589179>

## VIII. Anexos

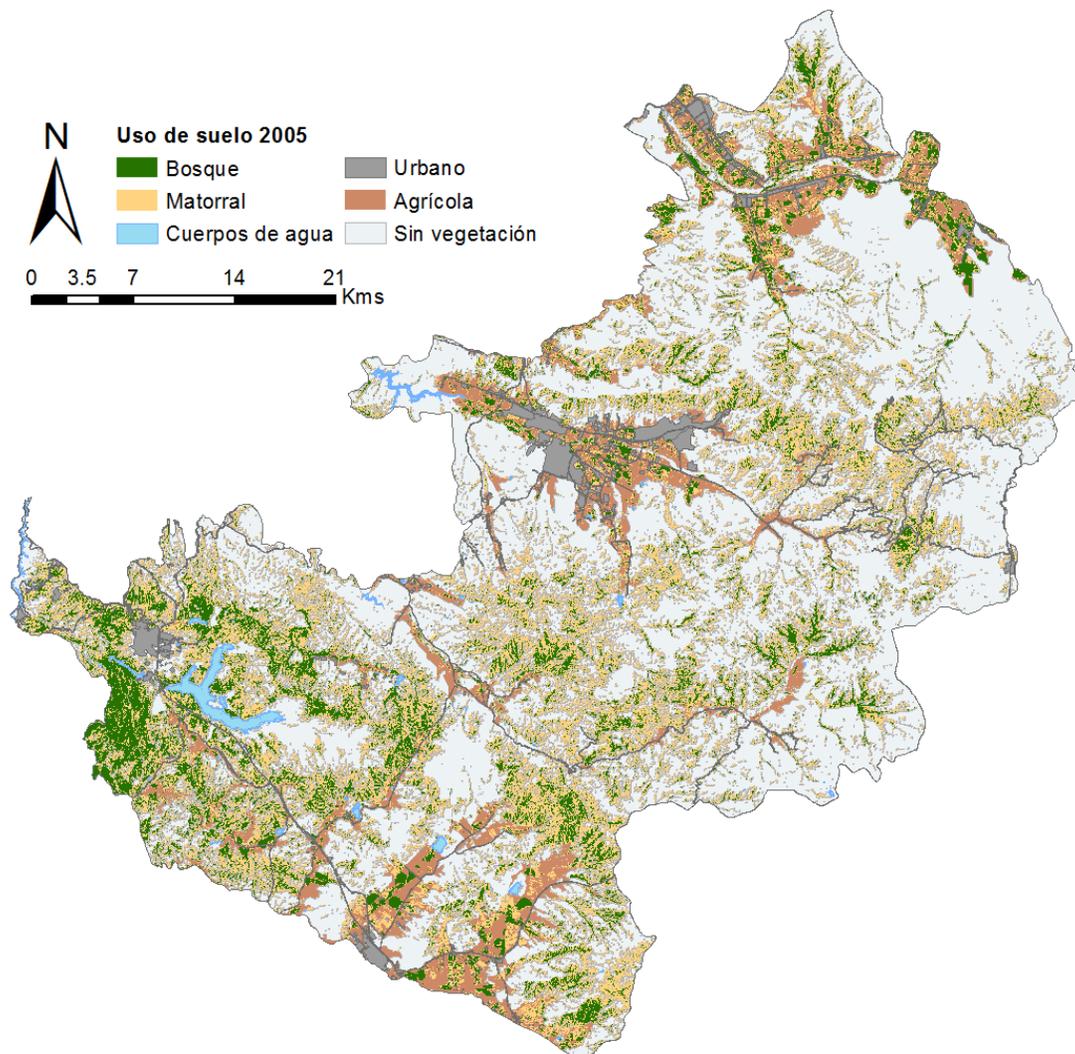
Anexo 1. Mapa 9.A.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 1985  
(A). Elaboración del autor



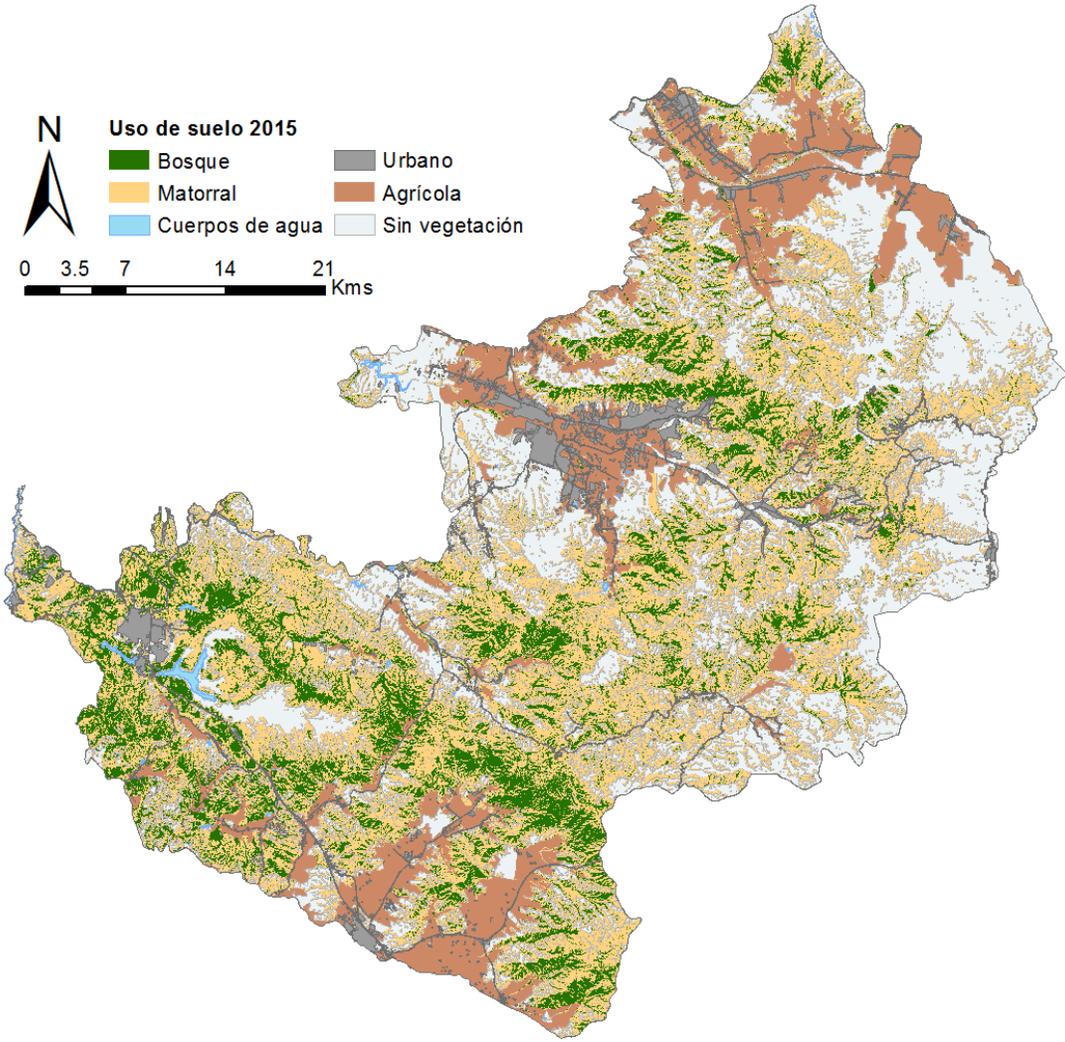
Anexo 2. Mapa 9.B.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 1995  
(B). Elaboración del autor



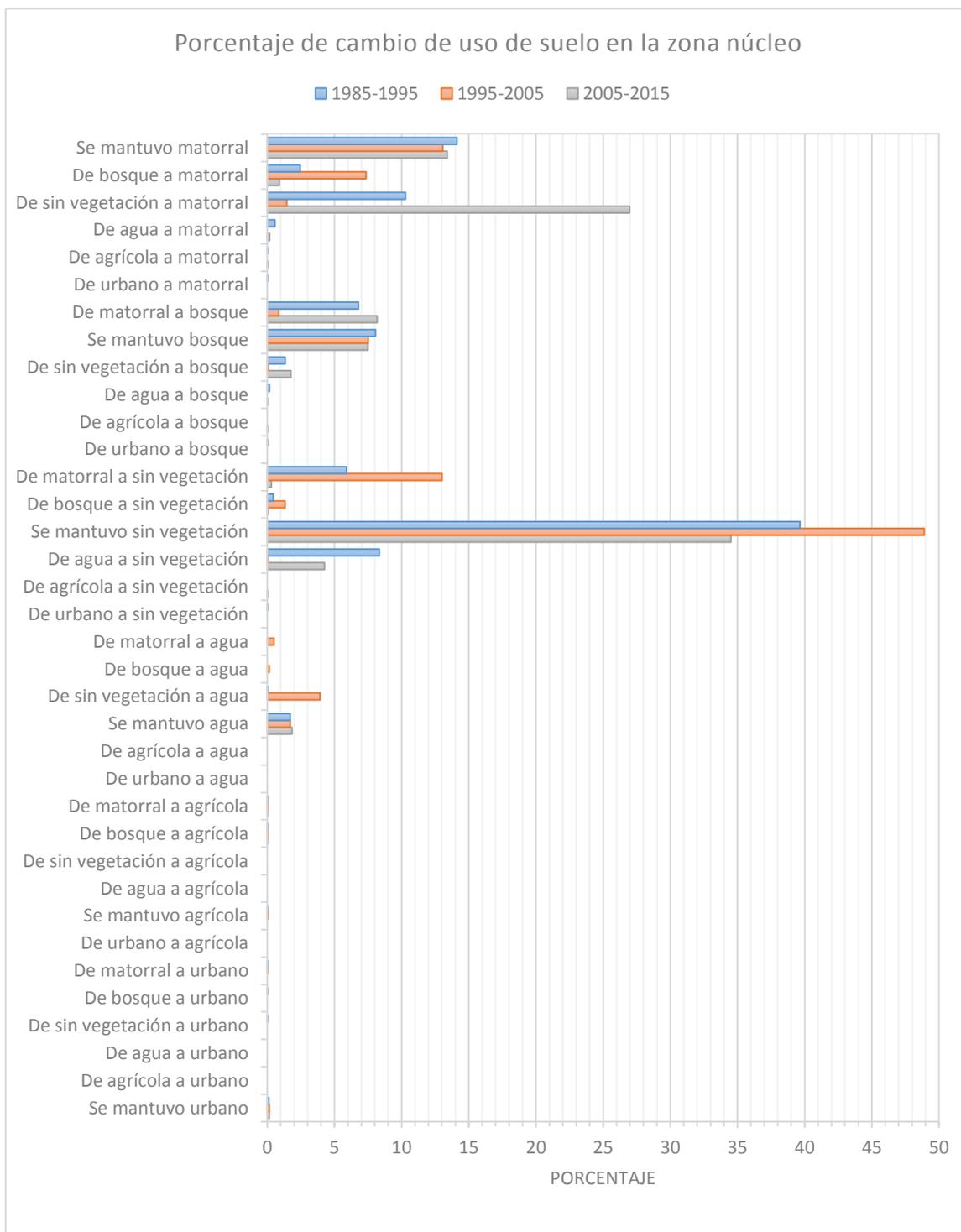
Anexo 3. Mapa 9.C.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 2005  
(C). Elaboración del autor



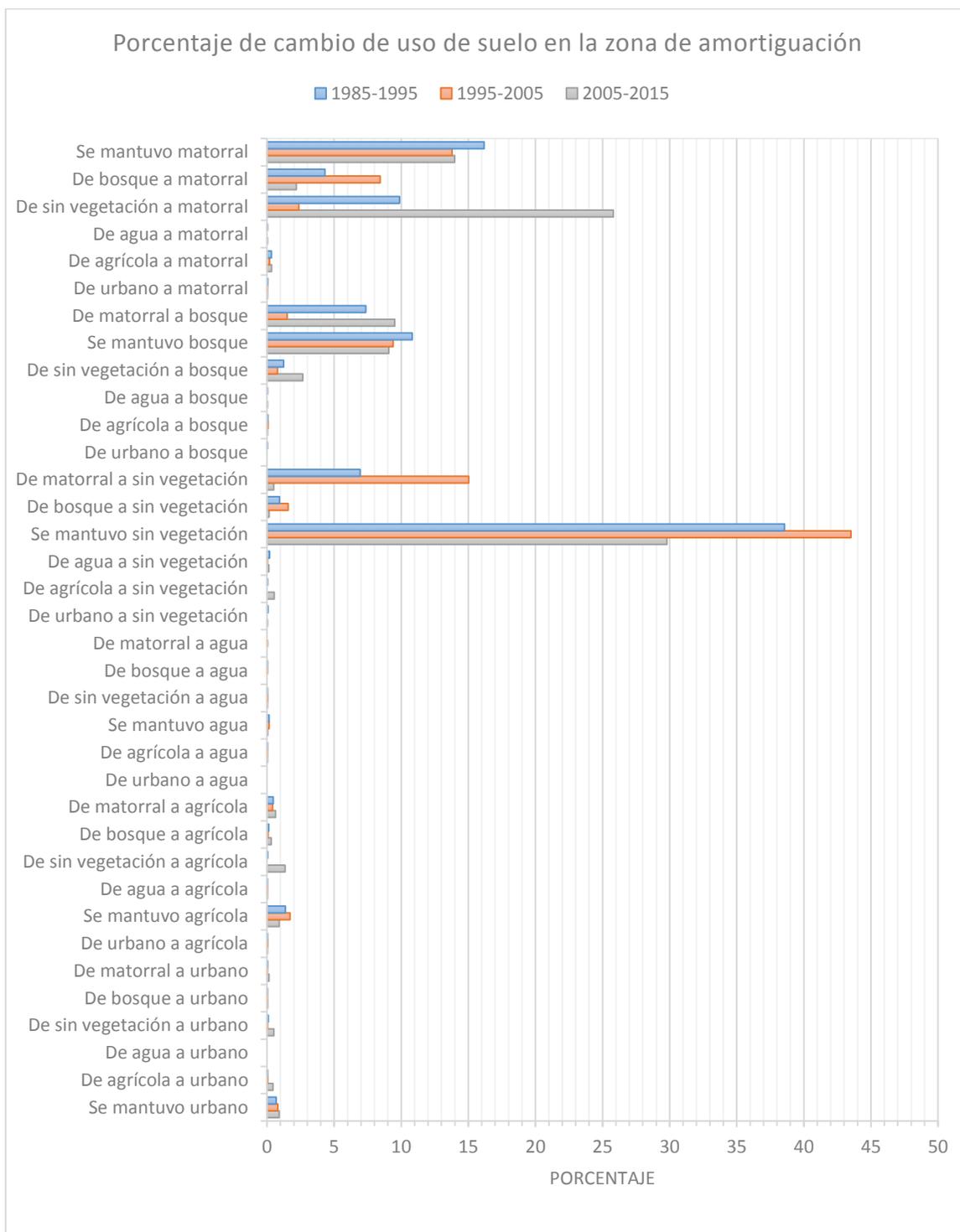
Anexo 4. Mapa 9.D.: Mapa de Integración de categorías de uso de suelo para el año 2015 (D). Elaboración del autor



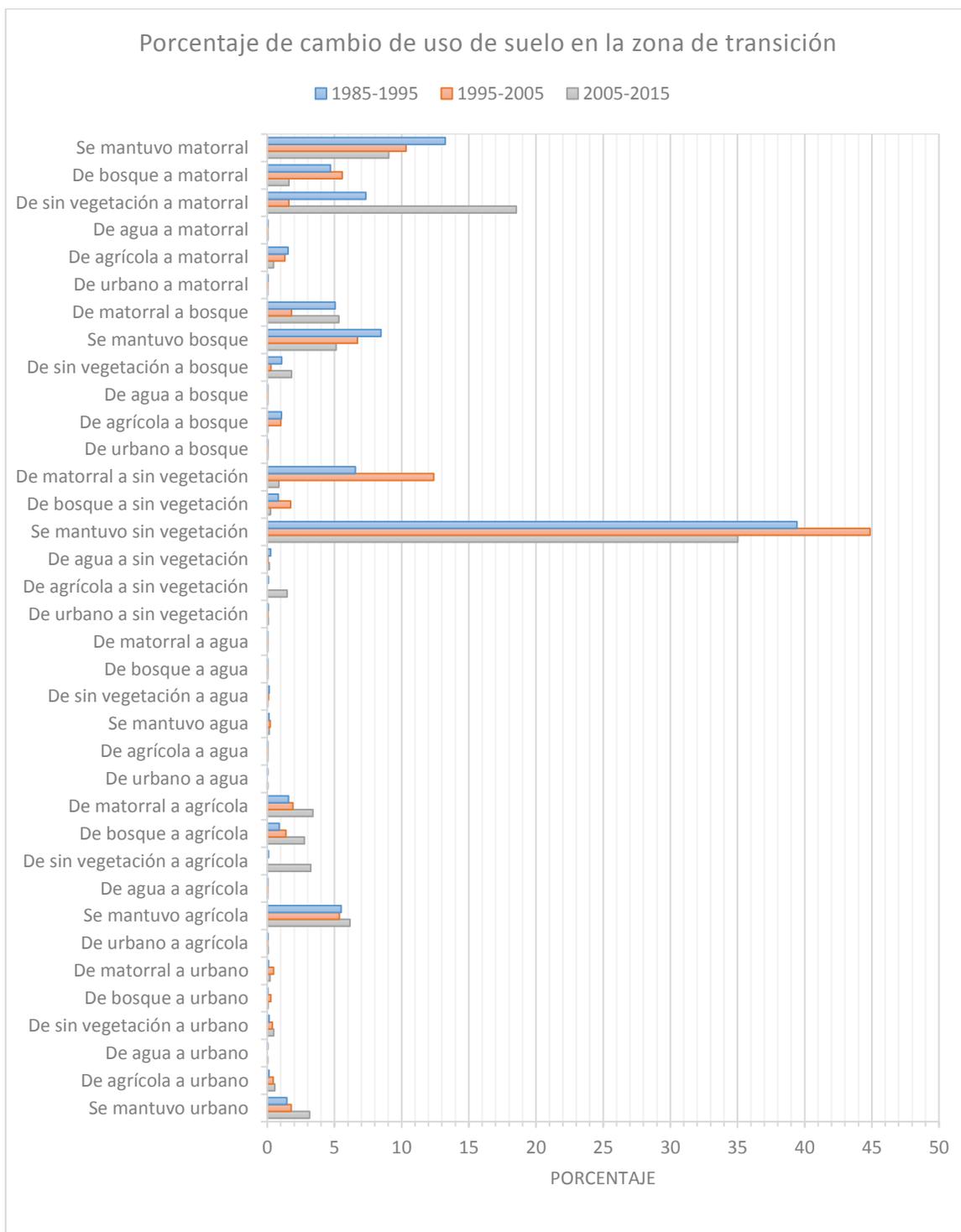
Anexo 5. Gráfico 20: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona núcleo por decenios de análisis. Elaboración del autor



Anexo 6. Gráfico 21: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona de amortiguación por decenios de análisis. Elaboración del autor



Anexo 7. Gráfico 22: Porcentaje de cambio de uso de suelo en la zona de transición por decenios de análisis. Elaboración del autor.



Anexo 8. Gráfico 23: Porcentaje de cambio de uso de suelo entre años 1985 a 2015.  
Elaboración del autor

