



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Geografía

---

**EVALUACIÓN DE LAS TRANSFORMACIONES EN EL PAISAJE Y LA  
PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA PROVINCIA DE  
CHACABUCO ENTRE 1984 Y 2012.**

Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo

**JOSÉ ALEJANDRO S. ROJAS OSORIO**

Profesor Guía: Alexis Emir Vásquez Fuentes

---

Santiago, Chile 2016

*A mi familia y a la memoria de mi abuelo.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a los que me apoyaron y estuvieron presentes en este proceso que tomó más tiempo de lo pensado. Agradecer de forma especial al profesor Alexis Vásquez por su paciencia y la oportunidad de trabajar bajo su tutela, además de brindar los medios necesarios para la elaboración de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN.....	1
1. PRESENTACIÓN.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Planteamiento del Problema.....	7
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
2. ESTADO DEL ASUNTO.....	13
2.1 Ecología del Paisaje.....	13
2.2 Cambio del paisaje.....	16
2.3 Expansión Física de las Ciudades.....	18
2.3.1 Caso de Santiago de Chile.....	22
2.3.2 Cambio de los Usos y Coberturas del Suelo.....	25
2.3.3 Métricas del Paisaje.....	29
2.4 Servicios Ecosistémicos.....	33
2.4.1 Definición de Servicios Ecosistémicos.....	33
2.4.2 Formas de evaluar la Provisión de Servicios Ecosistémicos.....	39
3. MARCO METODOLÓGICO.....	42
3.1 Área de Estudio.....	42
3.1.1 Límites y superficie:.....	42
3.1.2 Demografía.....	44
3.1.3 Red hídrica.....	44

3.1.4	Geomorfología.....	44
3.1.5	Biogeografía .....	45
3.2	Cambio Coberturas de Suelo. ....	45
3.3	Métricas del paisaje.....	48
3.4	Evaluación de Servicios Ecosistémicos .....	50
4.	RESULTADOS .....	53
4.1	Cambios generales de los usos del suelo .....	53
4.2	Cambio Usos y Coberturas periodo 1985 - 1992 .....	58
4.3	Cambio Usos y Coberturas periodo 1992 - 2001 .....	60
4.4	Cambio Usos y Coberturas periodo 2001 - 2012 .....	64
4.5	Matriz de Servicios Ecosistémicos .....	69
4.6	Cambio de Funciones y Servicios Ecosistémicos. ....	70
5.	SÍNTESIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	84
6.	CONCLUSIONES.....	91
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	96
8.	APÉNDICES.....	108
8.1	Apéndice A.....	108
8.2	Apéndice B.....	110
8.3	Apéndice C.....	121
8.4	Apéndice D.....	127
8.5	Apéndice E.....	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo del desarrollo estructural de la ciudad latinoamericana.....	20
Figura 2: Clasificación de Servicios Ecosistémicos.....	36
Figura 3: Modelo conceptual de cascada de Servicios Ecosistémicos.....	37
Figura 4: Ejemplo de Matriz de Usos y Cobertura del suelo y Servicios Ecosistémicos.....	40
Figura 5: Cartografía del área de estudio.....	43
Figura 6: Matriz de Evaluación de Servicios Ecosistémicos de Burkhard, (2009) .	50
Figura 7: Gráfico comparativo de superficie de las coberturas de suelo de la provincia de Chacabuco para el periodo 1985 - 2012. ....	55
Figura 8: Número de parches por año.....	57
Figura 9: Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo 2001.....	62
Figura 10: Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo 2012.....	66
Figura 11: Superficie y porcentaje de cambio 1985-2012. ....	69
Figura 12: Funciones Ecológicas proporcionadas por las coberturas del suelo ....	73
Figura 13: Gráfico de Servicios de Provisión proporcionados por los Usos y Coberturas del Suelo.....	75
Figura 14: Gráfico de Servicios de Regulación proporcionados por los Usos y Coberturas del Suelo.....	76
Figura 15: Gráfico de Servicios Culturales proporcionados por los Usos y Coberturas del suelo. ....	76
Figura 16: Gráfico de Funciones y Servicios Ecosistémicos totales proporcionados por los Usos y Coberturas del suelo.....	78
Figura 17: Porcentaje de superficie de cambio de Funciones y Servicios Ecosistémicos más importantes. ....	81
Figura 18: Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo 1985.....	110
Figura 19: Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo 1992.....	111
Figura 20: Cartografía de Cambio de Usos y Coberturas del suelo 1985 - 1992	112
Figura 21: Cartografía de Cambio de Usos y Coberturas del Suelo 1992 - 2001. ....	113
Figura 22: Cartografía de Cambio de Usos y Coberturas del Suelo 2001 -2012.	114

Figura 23: Gráfico comparativo de superficies de Uso y coberturas del Suelo del suelo 1985 -1992.....	115
Figura 24: Gráfico de porcentaje de cambio de Usos y Coberturas del suelo 1985 - 1992 .....	116
Figura 25 Gráfico comparativo de superficies de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001 .....	116
Figura 26: Gráfico de porcentaje de cambio de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001. ....	117
Figura 27: Gráfico comparativo de superficies de Usos y Coberturas del suelo 2001 - 2012. ....	118
Figura 28: Gráfico de porcentaje de cambio de Usos y Coberturas del suelo 2001 - 2012. ....	119
Figura 29: Matriz de evaluación de Servicios Ecosistémicos en base a valores de Burkhard et al., 2009. ....	131
Figura 30: Matriz de evaluación de Funciones y Servicios Ecosistémicos ponderada .....	132
Figura 31: Matriz de Funciones y Servicios Ecosistémicos provistos por categoría y valores totales. ....	133
Figura 32: Cartografía de Potencial de Funciones y Servicios Ecosistémicos 1985-1992 .....	135
Figura 33: Cartografía de Potencial de Funciones y Servicios Ecosistémicos 1992-2001 .....	136
Figura 34: Cartografía de Potencial de Funciones y Servicios Ecosistémicos 2001-2012 .....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valoración de los servicios Ecosistémicos. ....	51
Tabla 2: Área y porcentaje de cambio total de coberturas de suelo.....	54
Tabla 3: Superficie y porcentaje de ocupación de las principales coberturas. ....	56
Tabla 4: Superficie y porcentaje de variación de las coberturas de suelo para el periodo 1984 — 1992.....	59
Tabla 5: Superficie y porcentaje de variación de los usos del suelo para el periodo 1992 - 2001. ....	63
Tabla 6: Superficie y porcentaje de variación de los usos del suelo para el periodo 2001 - 2012 .....	64
Tabla 7: Superficie afectada por cambio en el número de funciones y servicios ecosistémicos. ....	71
Tabla 8: Superficie total afectada por cambio de funciones y servicios desde 1985-2012.....	72
Tabla 9: Principales pérdidas y ganancias de Funciones y Servicios Ecosistémicos. ....	80
Tabla 10. Definiciones de usos y coberturas del suelo utilizados.....	108
Tabla 11: Definiciones de Funciones y Servicios Ecosistémicos utilizadas .....	109
Tabla 12: Tabla de probabilidad de cambio de Usos y Coberturas del suelo 1985 - 1992.....	121
Tabla 13: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 1985 - 1992..	122
Tabla 14: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001..	123
Tabla 15: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001...	124
Tabla 16: Tabla de probabilidad de cambio de usos del suelo 2001 - 2012.....	125
Tabla 17: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 2001 - 2012..	126
Tabla 18: Métricas del paisaje 1985.....	127
Tabla 19: Métricas del paisaje 1992.....	128
Tabla 20: Métricas del paisaje 2001.....	129
Tabla 21: Métricas del paisaje 2012.....	130
Tabla 22: Resumen de funciones y servicios provistos por Usos y Coberturas del suelo. ....	134

## RESUMEN

La Ciudad de Santiago de Chile por su importancia tanto en el escenario regional como nacional en los últimos años se ha visto sometida a diversos procesos y transformaciones espaciales, siendo una de ellas la expansión urbana, proceso liderado por las inmobiliarias privadas. Sin embargo, el crecimiento físico de la ciudad de Santiago ha afectado las áreas periurbanas en donde aún es posible encontrar ecosistemas naturales. En este contexto, es relevante observar el cambio del paisaje afectado por la expansión física de las ciudades y cómo este cambio perturba la capacidad de los ecosistemas para sostener Funciones y proveer Servicios Ecosistémicos.

El principal objetivo de esta memoria es evaluar las transformaciones en el paisaje y la provisión de Servicios Ecosistémicos en la provincia de Chacabuco entre 1984 y 2012, donde esta zona de Santiago ha sido un polo de crecimiento importante tanto residencial como industrial en las últimas décadas.

En primer lugar se trabajó con base en la cobertura de suelos para la Región Metropolitana 2012 del GORE y de los cuales, mediante la fotointerpretación de imágenes LANDSAT TM, se obtuvieron las coberturas de los años 1985, 1992, y 2001. En segundo lugar, se determinó la probabilidad de cambio de las coberturas para así identificar los cambios paisajísticos experimentados. Por último, mediante la aplicación de matrices de evaluación de Funciones y Servicios Ecosistémicos, se estableció la capacidad tanto de sostener funciones como de proveer servicios de las coberturas de suelo, además de su variación asociado a los cambios temporales de estas coberturas.

Finalmente se identifican los cambios más importantes de las coberturas de suelo para la provincia de Chacabuco en cuanto a superficie y porcentaje de cambio mostrando algunos patrones espaciales que se desarrollaron, como por ejemplo, el crecimiento de la urbanización de baja densidad en las cercanías a Chicureo y el desarrollo industrial en la parte sur de la provincia. Además, se muestran las coberturas con la mejor aptitud para sostener Funciones y proveer Servicios Ecosistémicos, así como sus cambios más importantes en cuanto a número de funciones y servicios de ganancia o pérdida.

Palabras claves: Ecología del Paisaje - Servicios Ecosistémicos - Cambio de coberturas de suelo – Expansión Urbana – Expansión Física de las Ciudades

### **ABSTRAC**

The city of Santiago de Chile, due to its importance both in the regional and national scenarios, has been subjected to various spatial processes and transformations over the last years; one of them being urban expansion, a process led by private real estate companies. However, the physical growth of the city of Santiago has affected periurban areas where it is still possible to find natural ecosystems. In this context, it is relevant to observe the change in the landscape affected by the physical expansion of cities and how this change disturbs the capacity of ecosystems to sustain Functions and provide Ecosystem Services.

The main objective of this report is to evaluate the transformations in the landscape and the provision of Ecosystem Services in the province of Chacabuco between 1984 and 2012, moment when this zone of Santiago had been a pole of considerable growth, both residential and residentially, in the last decades.

First, we worked on the basis of soil cover for the 2012 Metropolitan Region of GORE and, through the photointerpretation of LANDSAT TM images, the coverage of the years 1985, 1992 and 2001 was obtained. Secondly, the probability of change of the coverages was determined to identify the landscape changes experienced. Finally, through the application of evaluation matrixes for Ecosystem Services, the capacity to support functions and to provide services for Land cover was established, in addition to their variation associated with the temporary changes in these coverages.

Finally, was identify the most important changes in soil cover for the province of Chacabuco in terms of surface and percentage of change showing some spatial patterns that were developed, such as the growth of low density urbanization in the vicinity of Chicureo And industrial development in the southern part of the province. In addition, the land cover with the best ability to support Functions and provide Ecosystem Services is shown, as well as their most important changes in terms of number of functions and services of profit or loss.

Key words: Landscape Ecology - Ecosystem Services - Change of land cover - Urban expansion - Physical expansion of Cities

## 1. PRESENTACIÓN

### 1.1 Introducción

Hoy en día las dinámicas que vive el mundo y su significado son abiertamente conocidas, sobre todo en el contexto de globalización actual. Las ciudades son las responsables de generar y mantener este funcionamiento, estando sometidas a un gran número de presiones externas (ej. concentrar la dinámica política y/o económica tanto regional como nacional en ocasiones más importante que la región misma a la cual pertenecen y los constantes flujos de migratorios), e internas (ej. responder a las demandas sociales y al crecimiento urbano, así como mantener la conectividad dentro del territorio de su jurisdicción.). Estas dinámicas en conjunto de demandas de los habitantes por una buena y mejor calidad de vida, influyen en los ecosistemas locales y su capacidad de proveer Funciones y Servicios Ecosistémicos.

Según el Millenium Ecosystem Assessment (2005), los Servicios Ecosistémicos pueden ser definidos como los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas y que se derivan de las Funciones Ecosistémicas de la naturaleza. Esto incluye (1) Servicios de Provisión, como la provisión de comida y agua; (2) Servicios de Regulación, como el control de inundaciones, sequías, degradación de suelos, y enfermedades; (3) Servicios de Soporte como formación de suelos y ciclo de nutrientes; y (4) Servicios Culturales como recreación, espiritual religioso u otros beneficios no materiales.

La Región Metropolitana de Chile, y especialmente la ciudad de Santiago, no está fuera de este comportamiento mundial dado que es la capital del país y concentra los poderes del estado y el desarrollo nacional tanto comercial como tecnológico. El Diagnóstico de la Región Metropolitana para la Estrategia Regional de Desarrollo 2012-2012 (2012), menciona la importancia de la Región Metropolitana de Chile dentro del contexto nacional ya que su aporte del PIB regional es aproximadamente del 48%, el 42% de las empresas se emplazan en la región, el 72% de las grandes empresas se localizan en Santiago así como el 90 % de las de las multinacionales que operan en el país, además del 82 % de las Pymes. Destaca dentro de la actividad económica de la región, la tendencia al aumento de las actividades terciarias que para el año 2010 representaba el 80% del PIB regional. Este aumento se debe al crecimiento del sector de comercio, transporte, comunicaciones y servicios financieros (PNDU, 2012).

La importancia que ha desarrollado la Región Metropolitana a nivel regional a través de las décadas con un marcado aumento del desarrollo económico ha llevado a que la ciudad de Santiago experimente una presión constante derivada principalmente del crecimiento demográfico por las ventajas que puede presentar a las personas tanto a nivel residencial como de condiciones laborales. Al respecto, aproximadamente en los últimos 30 años se ha desarrollado un mercado inmobiliario importante para responder a los requerimientos de la población, proceso que ha sido guiado principalmente por agentes inmobiliarios privados con el objetivo de obtener el mayor beneficio económico posible y desatendiendo muchas veces el medio natural, dañando ecosistemas e interviniendo hábitats ya

que el medio ambiente es considerado como un bien transable económicamente (Romero y Vásquez, 2005a). Se debe considerar además que la región posee una escasa proporción de bosques y áreas protegidas, menos del 7% de los suelos son bosques, aproximadamente un tercio del territorio carece o está desprovisto de vegetación y el 38% de los suelos presentan erosión del tipo moderada a muy severa (PNUD, 2012).

Se debe considerar que en la Región Metropolitana aún es posible encontrar un paisaje que mezcla un ambiente intensamente construido con un ámbito natural y rural en sus zonas periféricas que alberga desde ecosistemas naturales (ej. bosques y humedales) hasta ecosistemas productivos dominados por la acción humana (ej. cultivos y praderas de pastoreo).

La expansión física de la ciudad y de las actividades industriales y agrícolas podría significar una reducción tanto a la capacidad para sostener Funciones como para proveer Servicios Ecosistémicos. Un ejemplo de lo anterior son los cambios de espacios abiertos y áreas verdes por superficies impermeables. En este contexto, este estudio analiza el cambio de las coberturas del suelo y su impacto sobre el paisaje y los Servicios Ecosistémicos en la parte norte de la cuenca de Santiago desde 1984 a 2012. La investigación se desarrollará específicamente en la Provincia de Chacabuco con la finalidad de generar información respecto a la temática mencionada tanto respecto a los cambios de las coberturas del suelo como sobre la capacidad de sostener Funciones y proveer Servicios Ecosistémicos, ya que, en primer lugar, existe una carencia de información respecto a esto, y en segundo lugar, porque es un sector de la Región Metropolitana en la cual se han desarrollado

en los últimos años proyectos inmobiliarios e industriales que han transformando el paisaje de manera importante.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Hoy en día existe conciencia de la importancia que tienen las áreas verdes y ecosistemas naturales para las ciudades, gracias a la gran cantidad de Funciones y Servicios Ecosistémicos que estos entregan tanto a las personas como al medioambiente. En el plano local, esta idea toma más fuerza aún con los problemas de contaminación atmosférica que vive Santiago en la actualidad, donde es necesaria la presencia de los “pulmones verdes” en la ciudad (Romero y Vázquez, 2004). Un ejemplo de ello es el creciente interés por el estudio de la infraestructura verde en la ciudad, que contempla todas las áreas verdes presentes – bosques, plazas, matorrales y jardines entre otros - y como menciona la Comisión Europea, (2010) “la infraestructura verde ayuda a conectar entre sí las zonas naturales existentes y a mejorar la calidad ecológica de estas”. Además, una infraestructura verde ayuda a mantener en buen estado los ecosistemas para que puedan seguir prestando sus valiosos servicios a la sociedad, pero para crear una infraestructura verde es necesario adoptar un enfoque integrado de la gestión del suelo y una cuidadosa planificación estratégica del territorio (Comisión Europea, 2010).

Este último punto no sólo es necesario tenerlo en cuenta al momento de planificar la infraestructura verde, sino que también al momento de tomar cualquier decisión que intervenga y contemple el territorio porque debe pensarse como un sistema completo y complejo. Sin embargo, no corresponde considerar solo a los

espacios o áreas verdes que hay dentro de la ciudad como infraestructura verde o espacios que sostienen funciones y proveen servicios, también debe existir preocupación tal como menciona la comisión europea, por aquellos ecosistemas naturales que están en áreas circundantes a las ciudades, ya que también contribuyen a la descontaminación y a la producción de insumos agrícolas por nombrar algunos ejemplos. (Fariña, 2000; Gross, 2006; Rodríguez y Alarcón, 2003).

Estos espacios verdes naturales, seminaturales y productivos son los que se han visto especialmente afectados por la expansión y crecimiento difuso que ha experimentado el área metropolitana de Santiago en las últimas décadas, y que ha sido consecuencia de las condiciones económicas y políticas (ej. Crecimiento económico, apertura al mercado inmobiliario privado y mayor poder adquisitivo de las personas) así como sociales (ej. demanda de una mejor calidad de vida en un entorno natural) (Fariña, 2000; Rodríguez, 2016; De Mattos, 1999; De Mattos y Fuentes, 2012, Cáceres, 2015). Este crecimiento discontinuo se fortaleció en la década de los 90 con la apertura de los mercados inmobiliarios a entidades privadas, las cuales comenzaron a modificar el territorio principalmente con intereses económicos desatendiendo el cuidado de la naturaleza y haciendo de esta un bien económicamente transable (Poduje y Yáñez, 2000). Ejemplo de ello es que en 1981, mediante el Código de Aguas, el agua se convirtió en mercancía por medio de la creación de un mercado de concesiones a privados e instituciones carente de regulaciones significativas (Budds, 2012).

Debido a las condiciones descritas, entre los años 90 y 2000 surge lo que se denominó el *boom* inmobiliario, proceso que se intensificó con el tiempo a causa de

la especulación inmobiliaria del aumento de la plusvalía del suelo en las zonas periféricas de la ciudad. Esta especulación se fundamentó en la idea de que el recurso suelo era escaso y a la demanda del crecimiento demográfico considerable que se estaba desarrollando en esos años (Poduje y Yáñez, 2000). Una de los aspectos de este proceso consintió en situar en el mercado un imaginario verde, con amplias casas y patios, césped y piscinas, entregando un modelo de vida ideal cercano al icónico suburbio norte americano, materializado en proyectos inmobiliarios en la zona circundante a la ciudad (Irrarrázaval, 2012). El modelo de vivienda se orientaba al estrato socioeconómico medio-alto que poseía mayor poder adquisitivo y en ese entonces buscaba alejarse del centro de la metrópolis. El nuevo modelo inmobiliario comenzó a desarrollarse en la zona sur de Santiago, sin embargo, la calidad de vida de los nuevos residentes se vio afectada negativamente por los tiempos de viaje entre periferia-centro de la ciudad, ya que existe un aumento considerable de la congestión vehicular debido a la carencia de vías de transporte. Además, muchos de los nuevos habitantes no contaban con los recursos necesarios para mantener un predio de 5000 m<sup>2</sup> en buenas condiciones. Aquellos problemas orientaron el nuevo desarrollo inmobiliario a la zona nororiente de Santiago y fuera del límite urbano donde se advertía mayor potencial para el aumento en la plusvalía del suelo. Lo anterior se apoyaba en que la zona nororiente de Santiago sería el área de crecimiento natural del barrio alto debido a dos razones, la primera, es la cercanía al barrio alto consolidado y de mayor poder adquisitivo y, la segunda, es la construcción de autopistas concesionadas que disminuirían el tiempo de viaje hacia el centro de la ciudad (Poduje y Yáñez, 2000). Como consecuencia comenzaron a

subdividirse gran cantidad de los predios que en su mayoría eran destinados a un uso agrícola, y que eran adquiridos por los inversionistas inmobiliarios.

Este trabajo aporta a la comprensión de las transformaciones ocurridas en la zona norte de la cuenca de Santiago, específicamente en la Provincia de Chacabuco, en términos de los cambios de coberturas de suelo y sus implicancias para sostener Funciones Ecológicas y proveer Servicios Ecosistémicos, ya que, como se mencionó con anterioridad, es una zona en la cual en el último tiempo se ha desarrollado la expansión urbana de la ciudad de Santiago (inmobiliaria e industrial) sobre territorios principalmente agrícolas y de coberturas naturales tales como, vegetación andina, bosques, matorrales esclerófilos y matorrales de espinos. Además, es una zona que en los últimos años ha estado sometida a condiciones climáticas de aridez que se suman a una mayor demanda del recurso hídrico, por ejemplo, por parte de la minería y las nuevas zonas urbanas.

En este contexto el Estado aparece como el ente que busca normar la expansión urbana pensada para el área norte de Santiago. La medida a considerada fue la incorporación de los terrenos de Lampa, Til Til y Chicureo al Plan Regulador Metropolitano de Santiago en 1997 bajo la categoría de Zonas de Desarrollo Urbano Condicionado (ZODUC) y Áreas de Desarrollo Urbano Prioritario (ADUC).

Los antecedentes considerados hasta ahora dan cuenta de que el medio natural ha sido y continúa siendo afectado negativamente como consecuencia de ser considerado como un bien económico transable y en general no se contemplan las consecuencias ecológicas y paisajísticas que puede traer la expansión urbana.

Estudios de CONAF (CONAF-CONAMA, 2003) demuestran que en Santiago se han perdido muchas hectáreas de la mejor clase de suelos agrícolas (I y II) siendo reemplazadas por centros industriales, áreas de servicios y zonas residenciales (Lukas y Frakou, 2014). Además, la Provincia de Chacabuco incorporada en 1997 al PRMS cuenta con varios sitios protegidos por su valor ecológico y la presencia de un humedal sensible a cambios hídricos (PLADECO Lampa, 2013).

Lo anterior describe una dinámica espacial que nos muestra la heterogeneidad paisajística presente en la ciudad y sus zonas periféricas en la cual se desarrollan las relaciones y actividades humanas en todos sus niveles. Entonces como menciona Burel y Baudry (2002), los factores que intervienen en la dinámica del paisaje son denominados frecuentemente perturbaciones y son muy diversos, como perturbaciones abióticas (ej. huracanes, inundaciones, incendios o erupciones volcánicas entre otras), bióticas (ej. enfermedades o pestes) y también las actividades humanas (agricultura, explotación forestal, urbanización) que son los motores principales de los cambios en el paisaje.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar las transformaciones en el paisaje y la provisión de Servicios Ecosistémicos en la Provincia de Chacabuco entre 1984 y 2012.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el cambio de coberturas de suelo para la provincia de Chacabuco para los años de estudio.
- Analizar el cambio en la estructura espacial del paisaje por medio de la aplicación de métricas del paisaje.
- Evaluar la variación espacio-temporal de la Provisión de Funciones y Servicios Ecosistémicos.

## **2. ESTADO DEL ASUNTO**

En esta sección se detalla los conceptos, ideas y fundamentos principales de autores y trabajos que guiarán la elaboración de esta memoria. El trabajo se desarrolla desde la mirada de la Ecología del Paisaje, rama de la ecología que se centra en el estudio de las relaciones entre los patrones espaciales y procesos ecológicos que están presentes en el paisaje por las perturbación o presiones que lo afectan a distintos niveles de escala tanto temporal como espacial. Contempla además al ser humano como un ente que interviene en el desarrollo de estos procesos ecológicos.

Se hace una revisión sobre la temática de los cambios de usos del suelo y la expansión física de las ciudades y posteriormente se contempla esclarecer que se considera por Funciones y Servicios Ecosistémicos y un método para poder cuantificar su Provisión.

### **2.1 Ecología del Paisaje**

Para el desarrollo de las primeras definiciones de Ecología del Paisaje acontecía una dicotomía en la concepción de lo que era el paisaje, porque habían ideas provenientes de dos disciplinas importantes en la época: la Ecología como tal y la Geografía. Desde la Ecología se pensaba al paisaje más bien desde un aspecto funcional y desde la Geografía desde en un ámbito estructural y espacial. Los primeros acercamientos a la Ecología del Paisaje los vemos en autores como Troll (1939), quien introdujo el termino Ecología del Paisaje en 1939 tres años después que Tansley acuñase el termino ecosistema (Vink, 1983). Así Troll, geógrafo

alemán, tenía la idea de combinar ambas disciplinas, es decir, relacionar las estructuras espaciales objeto de la Geografía con los procesos ecológicos de la Ecología. En este contexto el paisaje se considera como la traducción espacial del término ecosistema (Ricard, 1975). En esta línea, Romero y Vásquez (2009) comentan que la Ecología del Paisaje comprende conceptos y métodos que asocian la espacialidad propia de la Geografía con la funcionalidad propia de la Ecología.

Diversos autores han contribuido a la definición de la Ecología del Paisaje dando aporte de fundamentos, elementos que considerar y sus diversas aplicaciones en estudios relacionados al paisaje.

Forman (1983), considerado como uno de los autores modernos más importantes en la materia, mantiene la esencia de la definición de Troll refiriéndose a *“la ecología del paisaje como el estudio de las interacciones entre los aspectos temporales y espaciales del paisaje y sus componentes de flora, fauna y culturales”*. Forman considera además un gran número de relaciones entre los elementos que componen un paisaje determinado, es decir atiende a las relaciones espaciales entre elementos que componen el paisaje o ecosistemas; los flujos de energía, nutrientes, minerales y especies entre los elementos; y la dinámica ecológica del mosaico paisajístico a lo largo del tiempo.

Dentro de las implicancias que puede tener para desarrollar estudios, Romero y Vásquez (2009) mencionan que la ecología del paisaje se entiende como *“una disciplina que contribuye a la evaluación de los efectos del crecimiento de las ciudades sobre la pérdida de servicios y bienes ambientales que terminan afectando*

*la sustentabilidad de su desarrollo*". Los autores complementan diciendo que esta disciplina destaca en su colaboración a la construcción e implementación de mejores ciudades en el futuro, mediante la incorporación del uso de la planificación y evaluación a nivel ambiental y ecológico a los planes, programas y proyectos de desarrollo urbano abarcando enfoques orientados a su comprensión en y de la ciudad. Lo anterior se realiza concentrando su atención en las transformaciones sufridas por los componentes ambientales naturales y socioeconómicos como consecuencia de la construcción, implementación y funcionamiento de la ciudad utilizando como unidad básica el análisis de mosaicos territoriales, conformados por parches y corredores, que representan espacialmente los polígonos y líneas generados por los distintos usos y coberturas de suelos que existen al interior y alrededor de las ciudades.

Asimismo Romero y Vásquez, (2005a), explican que la "*planificación ecológica de los paisajes es una disciplina que puede contribuir, de forma importante, a la regularización del proceso de urbanización en áreas ambientales sensitivas*".

La Ecología del Paisaje ha centrado su atención en el estudio de los diferentes tipos de fragmentos o parches que componen un paisaje, sus tamaños, formas, su conectividad y la distribución espacial de dichos fragmentos. Forman y Godron (1981) y Burel y Baudry (2002) definen a los parches como los fragmentos que el mosaico paisajístico.

Muchas de estas características espaciales pueden ser cuantificadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Bosque y García, 2000) y de un conjunto de métricas (McGarigal y Marks, 1995; Gustafson, 1998; Herzog y Lausch, 2001; Botequilha y Ahern, 2002; Turner, 2005), que pueden ser definidos como un conjunto de medidas cuantitativas derivadas del análisis digital de mapas temáticos (Herold et al, 2003)

Por último, desde un enfoque ecológico el estudio de la estructura del paisaje ha sido uno de los objetos de estudio de la Ecología del Paisaje en el contexto del rápido desarrollo experimentado por la disciplina en las últimas décadas (Herold, et al. 2003). A nivel de estudio general del paisaje se debe considerar la disposición espacial del mosaico y las redes que constituyen el patrón paisajístico el que sirve para diferenciar o comparar dos paisajes desde un punto de vista estructural (Burel y Baudry, 2002).

## **2.2 Cambio del paisaje**

La dinámica del paisaje depende de las relaciones que se generan entre el medio y la sociedad, esta relación crea estructuras cambiantes en el espacio-tiempo a través de los procesos ecológicos (Burel y Baudry, 2002). La Ecología del Paisaje integra el estudio del mosaico paisajístico, las características naturales del medio natural, los elementos que originan la heterogeneidad (el medio y la sociedad) y sus efectos sobre los procesos ecológicos.

Las causas que intervienen en la dinámica y los cambios que experimenta el paisaje son denominados frecuentemente perturbaciones, y son muy diversos.

Pueden ser abióticos, (ej. huracanes, inundaciones, incendios o erupciones volcánicas), como también pueden ser perturbaciones de origen biótico (ej. una epidemia). Por otra parte, en muchos lugares, las actividades humanas (agricultura, explotación forestal, urbanización etc.) son los motores principales de la dinámica del paisaje (Burel y Baudry, 2002).

Como resultado de estas perturbaciones se altera la configuración espacial del paisaje, causando principalmente aislamiento entre sus componentes (Forman, 1983). Entre los procesos resultantes de la dinámica se encuentran la fragmentación de hábitat como el más común y que corresponde a la ruptura o división de un hábitat más grande en parches más pequeños. También existen otros procesos espaciales evidentes en la transformación del paisaje como es el caso de la 1) perforación, que corresponde a la creación de "agujeros" en ecosistema esencialmente intacto, 2) la disección, que es la división de un ecosistema intacto en dos parches separados por un pasillo, 3) la contracción, que corresponde a la disminución en el tamaño de un hábitat y la 4) deserción, que es la desaparición de uno o más parches. Cada uno de estos procesos con gran implicación ecológica y humana. (Forman, 1996). Puesto que cada uno de ellos representa un estado mayor de degradación, fragmentación y pérdida de la cohesión de los ecosistemas naturales, representan también una disminución de la capacidad que poseen de sostener Funciones y proveer Servicios Ecosistémicos tanto para el medioambiente como para las personas. Por lo tanto, los cambios estructurales que afecten el paisaje por la intervención de factores tanto humanos como naturales

(perturbaciones) tiene relación directa con el soporte y la provisión de funciones y servicios.

Burel y Baudry (2002), manifiestan la importancia de la Geografía en el estudio de la Ecología del Paisaje en varios aspectos. Primero en gran parte por la representación espacial y la utilización de datos de teledetección que permiten un análisis de los elementos, unidades y tipos de paisajes. Además, la teledetección permite abarcar extensos espacios geográficos que el ojo humano no podría percibir simultáneamente. Segundo, permite realizar estudios multitemporales que facilitan el análisis continuo de las modificaciones del paisaje y, en tercer lugar, la dimensión multiespacial dado que por medio de la resolución y el complemento de imágenes aéreas se puede trabajar en distintas escalas de detalle. En el caso de esta memoria se estudiará el paisaje usando una sola escala espacial, pero tomando en cuenta un análisis multitemporal, así de esta forma, se espera comparar los distintos mosaicos paisajísticos de los años en estudio y estimar el cambio estructural que ha tenido el paisaje.

### **2.3 Expansión Física de las Ciudades**

La idea de ciudad se origina en el concepto de las *polis* griegas y a partir del cual se derivan distintas definiciones ya sean técnico-administrativas, estadísticas, históricas, funcionales y/o culturales. Por su parte, la ONU para considerar a un asentamiento como ciudad contempla una cantidad de 20.000 habitantes como mínimo (Schutz, 1996).

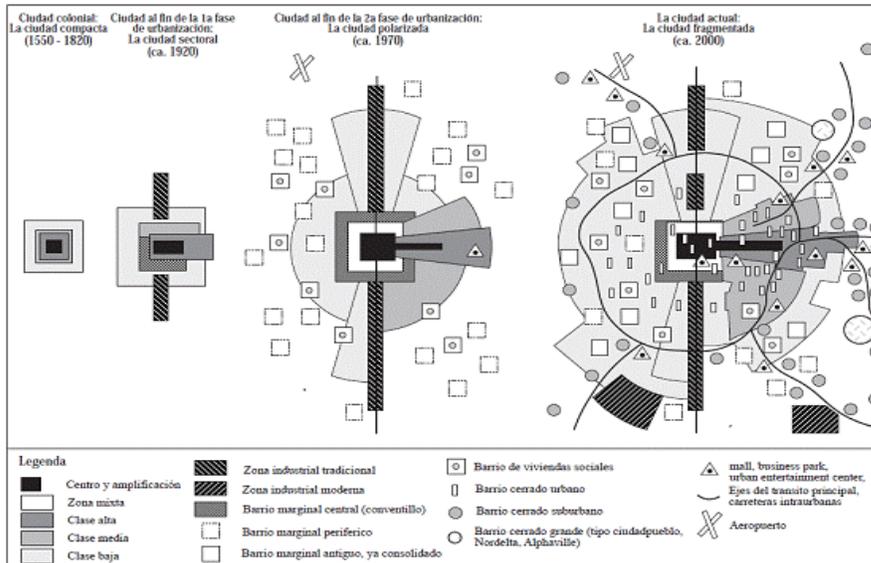
Una característica importante de las ciudades es su expansión física, que responde principalmente al crecimiento demográfico. Todos los países experimentan este fenómeno debido al aumento de su población, economía e infraestructura (Sandoval, 2009). A nivel mundial la urbanización constituye un importante motor de crecimiento y de cambio global (Zhu et al., 2012) como también es el caso de los centros urbanos en Chile y otros lugares de Sudamérica (Gallardo et al., 2012).

El proceso de crecimiento físico de las áreas urbanas ha sido descrito por diversos autores tales como Romero y Vásquez (2005a y b), Henríquez et al. (2006a); Mahesh Kumar et al. (2008), así como también Sudhira et al. (2004), confirmando que es un proceso de escala mundial (Sandoval, 2009). La dispersión urbana está cambiando paisajes y está empezando a mostrar sus profundas implicancias sociales, ecológicas y económicas, que se expresan en indicadores como el creciente consumo de tierra per cápita y la disminución de la densidad de población en las áreas urbanas en expansión.

Las ciudades en América Latina muestran altas tasas de crecimiento en cuanto a desarrollo del suelo en la periferia urbana. Mientras que en ciudades como Lima, Bogotá o Río de Janeiro esta tendencia va acompañada de un aumento de la población, otras ciudades como Santiago de Chile o Buenos Aires experimentan procesos simultáneos de descenso de la población central y suburbanización (Heinrich et al, 2009). El Área Metropolitana de Santiago de Chile, con su actual población de unos 5,5 millones de habitantes, es un buen caso para demostrar la evolución de la dispersión urbana y los factores que influyen en este proceso en

América Latina, desde la ciudad compacta colonial a lo que hoy es conocido como una ciudad fragmentada (Bähr y Mertins, 1995) (Heinrich et al, 2009) (Figura 1).

Figura 1: Modelo del desarrollo estructural de la ciudad latinoamericana.



Fuente: Borsdorf, (2003).

Según Ortiz, (2005) “Este tipo de estructura territorial que ha sido denominada por Monclús (1998), como nuevas periferias, o bien metropolización expandida por De Mattos, (1999) deriva de la dinámica de la suburbanización o periurbanización a que se ven enfrentadas la mayoría de las ciudades”.

Últimamente ha tomado importancia el rol que han tenido los modos de producir viviendas y su evolución hacia desarrollos inmobiliarios de gran escala. En América Latina y en particular en Santiago de Chile, esta tendencia a menudo toma la forma de los así llamados megaproyectos (Borsdorf e Hidalgo, 2005a; Hidalgo, Borsdorf y Sánchez, 2007).

Es necesario realizar hacer la distinción entre dos conceptos que son utilizados muchas veces de forma similar: expansión urbana y urbanización. El primer término involucra el crecimiento o la extensión física de las ciudades y forma parte de la urbanización. La expansión urbana guarda relación con el desarrollo de la actividad de la construcción, es decir, con el aumento de la infraestructura urbana, red vial, áreas verdes y el de áreas residenciales siendo esta la forma más concreta del crecimiento físico del área urbana. El segundo término que es la urbanización contempla más que sólo la construcción, el aumento de la población y de las áreas urbanas, implica cambios socioeconómicos mucho más complejos (Maldonado 2003).

El crecimiento físico de las ciudades puede manifestarse como expansión vertical, lo que implica la edificación en altura y la consiguiente densificación de la ciudad; o como expansión horizontal, lo que implica un crecimiento en extensión de la ciudad ocupando sus áreas circundantes. Este tipo de crecimiento horizontal más allá de del límite urbano es posible gracias al traslape operacional de los instrumentos de planificación, o bien, como consecuencia de algún vacío en la legislación.

Para Chaves (1980) la expansión física de las ciudades implica, según el tipo de expansión (ej. acreción, tentacular, salto de rana), una expansión continua o casi continua del plano urbano, el área edificada, las áreas verdes y otras áreas abiertas de uso urbano, y las tierras en proceso de urbanización (áreas vacantes). Azocar (en Rodríguez y Sánchez 2003), considera que al hablar de expansión urbana se está refiriendo al crecimiento o extensión física de la superficie urbana construida.

Por su parte, Bazant (2001), define un tipo de expansión urbana "incontrolada" que se refiere al proceso de ocupación del espacio de forma dispersa en el territorio circundante a la ciudad principal. Dicho territorio, aunque conserva elementos del medio natural y agrícola, con el pasar de los años dará lugar a un uso urbano continuo.

### **2.3.1 Caso de Santiago de Chile**

El crecimiento físico de las ciudades chilenas ha sido uno de los factores que impacta con mayor fuerza su entorno a través de la conversión de suelo ocupado por vegetación natural y agrícola a un uso urbano. El crecimiento urbano chileno se ha caracterizado por una expansión física de las ciudades en forma casi incontrolada que ha tenido profundas repercusiones ambientales y sobre su sustentabilidad (Romero y Vásquez, 2005a; Romero et al., 2007). Enormes superficies de suelos de alta capacidad agrícola o cubiertos por remanentes de bosques naturales, humedales y lechos de ríos y quebradas, han sido urbanizadas, perturbando severamente los flujos naturales de energía y materia (Romero et al., 2007, Smith, 2007).

En los últimos años, en la mayoría de las regiones se ha observado un importante desarrollo inmobiliario que ha impulsado la expansión urbana de las principales ciudades del país. Este crecimiento se ha nutrido por el uso de instrumentos de planificación que no son aplicables a la totalidad del territorio que administran, como los sectores rurales, resultando en un crecimiento de las áreas

urbanas en desmedro de las áreas rurales y naturales. (Rivas Sius y Traub Ramos, 2013).

El aumento constante de la población sumado a la búsqueda de una mejor calidad de vida y de zonas alejada del centro urbano por parte de las clases sociales mejor posicionadas, generó una alta demanda de suelos para uso residencial fuera de los límites de la ciudad. De esta manera en el año 1994, el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU) volvió a los principios que orientaron el PRIS y modificó el plan de 1979, dando lugar a un nuevo instrumento, que sería denominado Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) (Rivas Sius y Traub Ramos, 2013). Las regulaciones aumentaron en el área excluida al desarrollo urbano, definiendo usos especiales de protección ecológica, de interés silvoagropecuario y de riesgo por factores naturales (inundaciones, remoción en masa, entre otros) (Odepa, 2012). El territorio del PRMS 1994 comprendía las 32 comunas de la provincia de Santiago, dos comunas de la provincia de Maipo (San Bernardo y Calera de Tango) y las tres comunas de la provincia de Cordillera: Puente Alto, Pirque y San José de Maipo. Con la idea de regular el desarrollo de una gran cantidad de parcelas de agrado emplazadas al norte del Gran Santiago, en 1997 se produjo la primera modificación relevante al nuevo PRMS, incorporando la provincia de Chacabuco al área urbana metropolitana, asignando nuevos usos urbanos e industriales en sus tres comunas: Colina, Lampa y Tilttil. El PRMS de 1997 creó un nuevo concepto normativo, denominado Zonas Urbanas de Desarrollo Condicionado o ZUDC (Odepa, 2012; Rivas Sius y Traub Ramos, 2013). Las ZUDC se localizan en Colina, Lampa y Tilttil, en territorios que ya contaban con inversiones

inmobiliarias programadas de parcelas de agrado (Odepa, 2012). Para regularizar este escenario, el nuevo PRMS establece condiciones para urbanizar a las ZUDC, exigiendo un tamaño mínimo de proyecto de 300 hectáreas, cuotas de suelo para equipamientos, instalaciones productivas y viviendas sociales, y la exigencia de construir la infraestructura necesaria para mitigar los impactos viales, urbanos y ambientales sobre el resto del sistema metropolitano (Odepa, 2012; MINVU, 2008). Además de las ZUDC, el PRMS de 1997 creó las Áreas Urbanizables de Desarrollo Prioritario (AUDP) alrededor de las ciudades existentes (Colina, Lampa, Batuco) y Zonas Industriales Exclusivas y de Desarrollo Condicionado que prolongan el cono industrial de Quilicura a través de las autopistas Ruta 5 y Ruta 57 – G15 (Odepa, 2012; MINVU, 2008; Rivas Sius y Traub Ramos, 2013).

Frente a este contexto, no se debe obviar que la transformación de territorios naturales y cultivados en usos de suelos urbanos produce efectos ambientales dramáticos e irreversibles, razón por la cual este proceso debiera ser cuidadosamente planificado para evitar y minimizar la mayor parte de sus impactos negativos. Mientras mayor sean los efectos adversos de la urbanización sobre los medio ambientes naturales, serán más y mayores las necesidades de materia y energía proveniente de los sistemas de soporte de vida que se requieren para sustentar las ciudades. En los casos donde esta presión persiste durante largo tiempo se termina provocando, primero, un deterioro en los sistemas de soporte y finalmente una sobre exigencia más allá de su capacidad de carga (Pauliet et al., 2005; Pickett et al., 2001).

### **2.3.2 Cambio de los Usos y Coberturas del Suelo**

Los cambios de usos del suelo se relacionan directamente con la expansión urbana y la conversión de coberturas naturales a usos urbanos. Estos suelos sometidos a la presión de la urbanización son principalmente aquellos que naturalmente poseen un uso agrícola y que son, además, los encargados de abastecer a la ciudad en cuanto a materias primas, hortalizas etc. Una de las formas más visibles de poder observar las modificaciones antrópicas sobre los ecosistemas terrestres es por medio del estudio de cambio de usos y coberturas de suelo (Britos y Barchuk, 2008).

Lambin et al. (2003) mencionan que al momento de estimar el cambio en los usos y coberturas del suelo es necesario considerar la conversión para describir el cambio de un tipo de cubierta por otra y la modificación cuando no se operan cambios de categoría pero si se detecta algún nivel de afectación en uno o varios atributos de la misma.

Tal como expone Sandoval (2009), debido a la importancia de la temática a nivel mundial es que se han desarrollado varios proyectos que registran, identifican y sistematizan los cambios las coberturas de suelo producidos en el territorio. Sandoval (2009) describe los principales proyectos desarrollados en torno a la temática como el programa europeo CORINE (Coordination of Information on the Environment), que nació con el objetivo de capturar datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos europea a escala 1:100.000 sobre la Cobertura y/o Uso del Territorio y proyectos asociado como Land Cover, cuyo

objetivo era proporcionar información localizada geográficamente sobre las coberturas del suelo de los estados miembros de la Unión Europea. De este modo se pretendía que la información básica para el control medioambiental, fuera homogénea para toda la comunidad. El proyecto MEDGEOBASE-Marruecos, cuyo objetivo es la creación y la puesta en marcha de una base de datos geográfica sobre la ocupación del suelo, conforme a las especificaciones del CORINE Land Cover de la Comunidad Europea, destinado a la gestión y protección del medio ambiente y la elaboración de políticas equilibradas de desarrollo a lo largo del litoral de Marruecos, entre Tiznit y la frontera argelina. Otro proyecto relacionado es LACOAST (Land Cover Changes in Coastal Zones) el cual surgió a partir del programa CORINE, constituyéndose en “un proyecto experimental para la recogida, coordinación y coherencia de la información sobre la situación del medio ambiente y los recursos naturales de la Comunidad Europea”, siendo el principal objetivo el estudio de la evolución de las costas europeas entre los años 1975 y 1987 (Ezquerro et al, 1998, p. 202). En EE.UU., existe el Land Cover Trends Project desarrollado por el Servicio Geológico, (USGS) que está centrado en la investigación y comprensión de los tipos, tendencias, causas y consecuencias contemporáneas de los cambios de uso y cobertura de suelo, con el objetivo de establecer sus alcances, naturaleza y causas. (USGS, 2009).

A nivel Nacional aparecen ejemplos de estudios y tipologías sobre los cambios de las coberturas del suelo como el catastro de bosque nativo de CONAF, la actualización de la carta de usos del suelo para la Región Metropolitana desarrolla por el GORE para el año 2012 entre otros. Sin embargo, aún no es posible contar a

nivel nacional una estandarización de los procedimientos que permita, por ejemplo, usar una misma tipología de clasificación estudios de temáticas a fines. Lo anterior tiene como consecuencia que cada investigación o trabajo utilice los procedimientos e información que estime adecuada, complejizando así la comparación entre trabajos tanto a nivel nacional como internacional. A nivel internacional se advierte que la tipología comúnmente utilizada es la propuesta por CORINE Land Cover y donde el caso colombiano es el más cercano de aplicación de esta tipología. En Colombia se realizó una sistematización de toda la información geoespacial en una sola clave de clasificación que definía los usos y coberturas del suelo basada en la propuesta de CORINE, pero adaptada a nivel nacional, permitiendo tener por una parte una base comparativa con otros trabajos a nivel internacional y por otra la aplicación de metodologías a estudios nacionales.

Los cambios en los usos y coberturas del suelo generan alteraciones en la configuración del paisaje natural, alteraciones que a su vez tienen efectos sobre el comportamiento de la Funciones y Servicios Ecosistémicos tal como el abastecimiento y regulación de agua superficial y subterránea; el control de la erosión y retención de sedimentos; la asimilación de desechos; los procesos de formación del suelo; el abasto de recursos genéticos; y la Provisión de oportunidades de recreación y esparcimiento (Costanza et al., 1997; Luck et al., 2001). Walker (2003) plantea el cambio de los usos del suelo como resultado del proceso dinámico y que refleja la consecuencia de las decisiones tomadas por los habitantes de la tierra. Esta transformación humana sobre los hábitats naturales

hacia ambientes artificiales y/o construidos representa la principal causa de degradación ambiental (López y Bocco, 2001).

Autores como Romero y Vásquez, (2005a y b) exponen que la expansión física de las ciudades (crecimiento del área construida) actúa como uno de los mayores causantes de los cambios de uso y cobertura de los suelos transformando espacios naturales o seminaturales en urbanos. Withford et al (2001), Romero y Vásquez (2005a y b), Pauliet et al (2005), Molina (2007), Romero y López (2007) y Vásquez et al (2008) explican que la expansión urbana y los cambios en las coberturas de suelo asociados tienen diferentes efectos sobre el medio ambiente planteando algunos principales como:

- Intensiva reducción de espacios con vegetación natural incluyendo terrenos de cultivo, áreas naturales y humedales.
- Pérdida de biodiversidad y reducción y desaparecimiento de hábitats, corredores y parches de vida silvestre.
- Transformación del paisaje provocando el aumento de la fragmentación y disminuyendo la conectividad entre parches de vegetación.
- Cambios en el ciclo hidrológico.
- Cambios en el clima urbano generando la consolidación de islas de calor al interior de las ciudades.
- Contaminación del aire, agua y suelos.

### 2.3.3 Métricas del Paisaje

El estudio cuantitativo de la estructura del paisaje se realiza por medio de diferentes métricas que aportan interesantes datos numéricos sobre su composición (tipos de elementos que forman parte del paisaje), configuración (disposición espacial de dichos elementos) y funcionalidad. Por ejemplo, la proporción de cada uso del suelo y la forma de los elementos del paisaje, es decir, los parches o fragmentos que componen el mosaico paisajístico así como para el estudio de la funcionalidad se usa la valoración de la conectividad ecológica entre los fragmentos del paisaje (Aguilera, 2010).

Vila-Subirós et al. (2006) menciona que las métricas del paisaje se pueden agrupar en 5 grupos según las categorías propuestas por McGarigal y Marks, (1995); McGarigal, (2002); Botequilha et al., (2006). Estas categorías corresponden a métricas de (1) área, (2) forma, 3) ecotono y hábitat, (4) distancia y conectividad y (5) variabilidad y diversidad. A continuación se describen los grupos y las métricas que serán utilizadas en esta investigación y que corresponden principalmente a métricas de área y distancia:

- Área total (Class area y total area - CA/TA): Es igual a la suma de las áreas (m<sup>2</sup>) de todos los parches según parche, clase o paisaje correspondiente, esta sumatoria es dividida por 10.000 (para convertir en hectáreas). Es una medida de la composición del paisaje
- Numero de parches (Number of patches - NP): calcula el número de parches existentes según clase y/o paisaje.

- Densidad de parches (Patch density - PD): Es el número de muestras (parches) cada 100 hectáreas. Es una medida simple de la fragmentación.
- Tamaño promedio de parches (Mean patch size - MPS): Corresponde al área ocupada por un tipo de parche particular, dividido por el número de parches de ese tipo (clase). Es una medida simple de la fragmentación.
- Índice del parche más grande (Largest patch index - LPI): LPI es el área (m<sup>2</sup>) del parche más grande, según tipo de parche, clase o paisaje correspondiente dividida por la superficie total del paisaje (m<sup>2</sup>), multiplicado por 100 (para convertir a un porcentaje). Es una simple medida de prevailecimiento.
- Distancia euclidiana promedio del vecino más cercano (Euclidean mean nearest-neighbor distance - ENN\_MN): Es el valor de la distancia (m) promedio con todos los parches, mediante el cálculo del parche vecino más cercano, por lo cual se basa en la distancia más corta de borde a borde del parche. Es una simple medida de contexto parche y se ha utilizado ampliamente para cuantificar el aislamiento parche.
- Porcentaje del Paisaje (Percentage of Landscape - PLAND) : Equivale a la suma de las áreas (m<sup>2</sup>) de todos los parches correspondientes a un tipo específico, dividido por el área total del paisaje (m<sup>2</sup>), multiplicado por 100 (para convertir a porcentaje); en otras palabras, PLAND equivale al porcentaje del paisaje incluido en el tipo correspondiente de parche.

Para realizar la medición las métricas del paisaje existen en la actualidad diversos *softwares* que pueden desempeñar dicha labor. Uno de los más comunes el *software* Fragstats para análisis de patrones espaciales de datos *ráster*. A continuación se desarrollará una pequeña descripción de los *softwares* más utilizados para las mediciones de las métricas del paisaje (Ibáñez, 2009).

- Fragstats: Creado el año 1995, fue desarrollado por el Dr. Kevin McGarigal y Barbara Marks en la Universidad estatal de Oregon. Funciona esencialmente en formato *ráster* y es considerado el programa más completo por lo que se refiere a la diversidad y capacidad para desarrollar cálculos métricos.

Por tratarse de un *software* libre y disponible en la red<sup>1</sup> además de la facilidad de manejo de los datos y de la interfaz operacional, se trabajará con este programa.

- Grass: La primera versión apareció a principios de los años 80 y fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos y el Laboratorio para la Investigación de la Construcción. Funciona esencialmente en formato *ráster*.

---

<sup>1</sup> [www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html)

Grass es un sistema de información geográfica que dispone de un módulo específico para el análisis de la estructura del paisaje. Es de dominio público<sup>2</sup>.

- Patch Analyst: Creado en el año 1999 por Phil Elkie, Rob Rempel y Angus Carr, con financiación aportada por el Ministerio de Recursos Naturales de Ontario (Canadá). Éste es un programa más modesto que los anteriores, ya que se limita a calcular exclusivamente los principales índices de paisaje. Existe una versión que trabaja en formato vectorial y otra en formato *vectorial/ráster*. Este funciona como una extensión de ArcView y es de acceso libre en la red<sup>3</sup>.

- V-Late. Creado el año 2003 por un equipo del Landscape and Resource Management Research Group, de la Universidad de Salzburg (Austria), dirigido por Dirk Tiede en el marco del proyecto de investigación europeo denominado SPIN (Spatial Indicators for Nature Conservation). Trabaja en formato vectorial y se presenta como una extensión de ArcGis. En este caso, también se trata de un programa de acceso libre disponible en la red<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> <http://www.grass.itc.it/>

<sup>3</sup> [lash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/](http://lash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/)

<sup>4</sup> [www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm](http://www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm)

## **2.4 Servicios Ecosistémicos**

Tras una revisión bibliográfica se advierte que en la literatura no existe aún consenso con respecto a la definición de Servicios Ecosistémicos. Definir y clasificarlos se ha convertido en sí mismo en objetivo de numerosas investigaciones y publicaciones (Daily, 1997; MEA, 2003; Boyd y Banzhaf, 2007; Wallace, 2007; Vandewalle et al., 2008; Fisher et al., 2009), como también ha dado lugar a diferentes debates (Wallace, 2007; Fisher y Turner, 2008; Constanza, 2008 en Martin-López y Montes, 2010).

### **2.4.1 Definición de Servicios Ecosistémicos.**

Antes que todo, es necesario aclarar que si bien una parte importante de la investigación se sustenta en estudiar la Provisión de Servicios Ecosistémicos, también se consideran algunas Funciones Ecológicas debido a la importancia que tiene estas en el funcionamiento de los ecosistemas y como soporte para la Provisión de los servicios. De esta manera se hace la distinción entre Funciones y Servicios Ecosistémicos, definiendo el primer término de forma simple como *"los procesos biológicos, geoquímicos y físicos y los componentes que forman parte de ellos que ocurren dentro de un ecosistema"* (Maynard et al 2010 en Petter et al 2013). En el caso de los Servicios Ecosistémicos, a continuación, se desarrollará una revisión bibliográfica del estado en que se encuentra el término.

Con el tiempo la definición más aceptada para definir Servicios Ecosistémicos es la propuesta por la Evaluación de los Ecosistema del Milenio (MEA por sus siglas en inglés) (2005), que propone tanto una definición como una

clasificación de ellos. La definición propuesta por MEA le dio un gran impulso al concepto y actualmente es la que se utiliza con mayor frecuencia, aunque por cierto existen detractores y controversias sobre qué elementos considerar en su definición por la complejidad de estudio que presentan los Servicios Ecosistémicos (Carpenter et al., 2006; Sachs y Reid, 2006; Haines-Young & Potschin 2012; Von Haaren et al., 2014)

MEA (2005) sintetiza la definición de SE en “*todos los beneficios que la sociedad obtiene de la naturaleza*”. Estos servicios están intervenidos directamente por el actuar humano, es decir, por la presencia de la sociedad, quien además es capaz de modificarlos. El Ministerio de Medioambiente (MMA) define los Servicios basado en The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) (2014), como “*la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano*”.

Valdez y Luna (2011), realizan una recopilación sobre el marco conceptual y la clasificación de los Servicios Ecosistémicos donde exponen las definiciones utilizadas con mayor frecuencia en la literatura y se detallan a continuación.

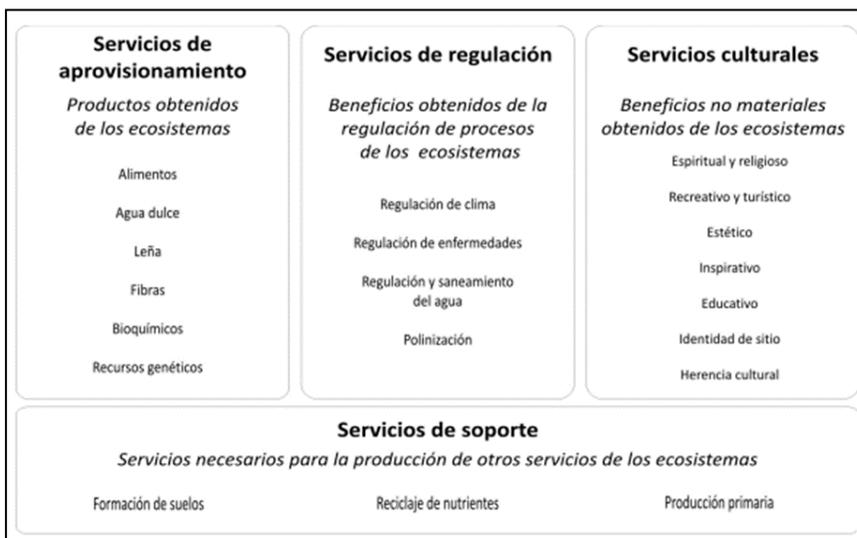
- Las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana (Daily, 1997).
- Los bienes (como alimentos) y servicios (como asimilación de residuos) de los ecosistemas, que representan los beneficios que la población humana obtiene, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Costanza et al., 1997).

- Funciones del ecosistema: capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente (De Groot et al., 2002).
- Los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (MEA, 2005).
- Aquellas funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano o tienen un potencial para hacerlo en el futuro (U.S. EPA, 2004)
- Son componentes de la naturaleza, disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano (Boyd y Banzhaf, 2007).
- Son los aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano (Fisher et al., 2009).
- Los Servicios Ecosistémicos pueden ser valorados económicamente a fin de equiparlos de alguna manera con actividades económicas que implican cambios en los usos de suelo y de esta manera contar con argumentos adicionales para su conservación y manejo.

La definición propuesta por MEA, (2005) (Figura 2) agrupa los Servicios en cuatro grupos: (1) Provisión (madera, agua etc.), (2) regulación (control de

inundaciones y de pestes etc.), (3) culturales (espirituales, recreación etc.) y (4) soporte (ciclo de nutrientes etc.)

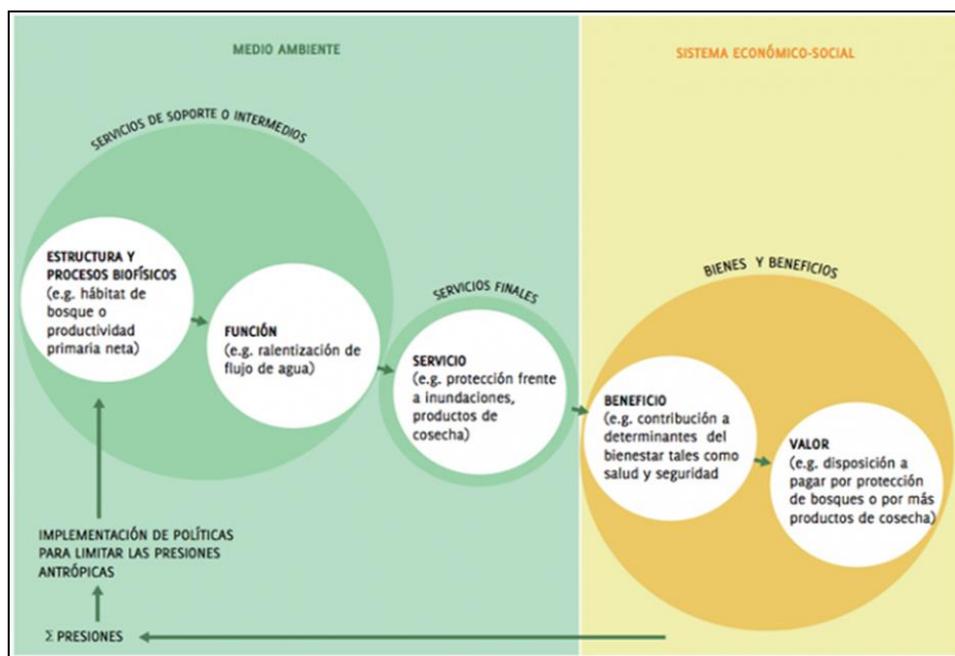
Figura 2: Clasificación de Servicios Ecosistémicos



Fuente: Evaluación de los Ecosistema del Milenio, (2005).

La “Cascada de los Servicios Ecosistémicos” (Figura 3) conecta lógicamente y concisamente las estructuras y procesos ecosistémicos con los elementos que afectan el bienestar humano a través de una especie de “cadena de producción”. De esta manera, la CSE demuestra que se requieren estructuras funcionales de un ecosistema para la generación de Servicios Ecosistémicos y de los consiguientes beneficios asociados a ellos (Potschin & Haines-Young 2011). Esto implica además, que los llamados Servicios de Soporte pasen a ser clasificados como Funciones Ecosistémicas. La CSE revela que, para obtener un flujo continuo de ellos, se requiere proteger y conservar los ecosistemas y la biodiversidad que les dan sustento (MMA, 2014).

Figura 3: Modelo conceptual de cascada de Servicios Ecosistémicos.



Fuente: Haines-Young & Potschin (2012) a partir de Potschin & Haines-Young (2011) en MMA, (2014).

El flujo y el tipo de servicios que proveen los ecosistemas depende de varios factores entre ellos la unidad proveedora de servicios ambientales y el estado de conservación de estas, es decir, si bien los Servicios Ecosistémicos pueden darse en cualquier ecosistema, no necesariamente todos los ecosistemas brindan los mismos servicios de la misma calidad o cantidad (Kremen, 2005).

Por definición, un Servicio Ecosistémico es considerado como tal si hay un beneficio obtenido por los humanos. Sin beneficiarios humanos, las funciones de los ecosistemas no son servicios (Fisher et al., 2009). En otras palabras, debe haber una cierta demanda por la gente para utilizar un Servicio Ecosistémico en particular.

Los beneficiarios de estos Servicios Ecosistémicos son definidos como aquellos actores sociales que se benefician (directa o indirectamente) de los servicios suministrados por los ecosistemas (Vandewalle et al., 2008). Los actores sociales a su vez pueden presentar dos roles en relación con los Servicios Ecosistémicos: un papel activo en tanto que controlan el manejo y gestión de los servicios, y un papel pasivo en tanto que se ven afectados (positiva o negativamente) por la gestión del flujo de servicios (De Groot et al., 2006;). Por esta razón, se debe distinguir cuáles son los actores más importantes en función de su nivel de influencia sobre el suministro de los servicios o en función del grado de importancia que los servicios tienen para ellos. El nivel de influencia se refiere al grado de control, acceso, o manejo que el grupo de actores tiene sobre los Servicios Ecosistémicos. La importancia se refiere al grado de dependencia del grupo social con respecto al suministro de los Servicios Ecosistémicos. Se pueden distinguir tres tipos de actores sociales, de De Groot et al., (2006) *"(1) prioritarios: son aquellos cuyo bienestar humano depende del suministro de eco-servicios, (2) secundarios: se refieren a aquellos con elevada influencia sobre el suministro de eco-servicios o (3) externos: son aquellos cuyo bienestar no depende del suministro de servicios, así como no tienen capacidad de gestionar o influir en el flujo de servicios"*. (De Groot et al., 2006).

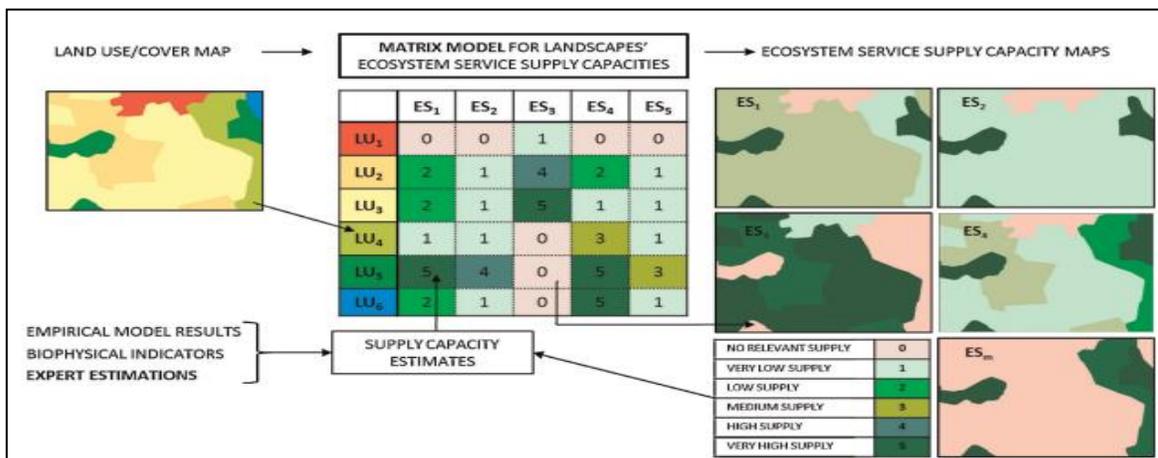
## **2.4.2 Formas de evaluar la Provisión de Servicios Ecosistémicos**

Ha pasado mucho tiempo desde que Eugene P. Odum planteó la interrogante de como poder valorar a la naturaleza a comienzos de la década de 1970 (Odum, 1974). Es un tema complejo y sensible dado los diversos actores e intereses que involucra, aun estando consciente de su relevancia no se puede dar una respuesta simple y definitiva. Hay múltiples formas valorar el medioambiente donde la más común es estimar valores económicos a los beneficios que se obtienen de él, pero también puede ser valorado a través de su capacidad para proveer Funciones y Servicios Ecosistémicos, idea que es defendida por ciencias relacionadas con temas ambientales. Laterra et al. (2011), comenta que un activo ambiental perdido es un costo que sufre la sociedad, aunque no se lo reconozca como tal porque el humano no logra percibirlo con facilidad. La capacidad que poseen los ecosistemas para suministrar diversos servicios está relacionada a (1) condiciones naturales; como por ejemplo la cobertura natural de la tierra (vegetación más importante), hidrología, las condiciones del suelo, la fauna, la elevación, la pendiente y el clima; y a (2) los impactos humanos; principalmente asociados a los cambios de uso del suelo.

Trabajos como los de Jacobs et al. (2014), Jacobs (2009) y Burkhard et al. (2009), dan a conocer metodologías para la evaluación de Servicios Ecosistémicos por medio del uso de matrices donde se valora la capacidad que posee una determinada cobertura de suelo para proporcionar cierto servicio (Burkhard et al., 2009). Por lo tanto, con el fin de evaluar qué servicios puede suministrar el ecosistema es necesario conocer cuáles son las unidades espaciales que los

aportan. (Martin-López y Montes, 2010). Las unidades suministradoras de servicios pueden ser definidas como aquellos componentes de los ecosistemas que ejercen funciones, es decir, que tienen capacidad de proveer los servicios requeridos por los beneficiarios (Vandewalle et al., 2008). Los tipos de coberturas del suelo altamente modificados tales como el tejido urbano, zonas industriales o comerciales, zonas de extracción de minerales y vertederos, poseen muy baja o casi nula capacidad para proporcionar Servicios Ecosistémicos (Burkhard et al., 2009). En el modelo de matriz mencionado se consideran los usos y coberturas en relación a los Servicios Ecosistémicos, de esta forma evalúan la capacidad de los diferentes tipos de unidades geospaciales para proporcionar Servicios Ecosistémicos (Figura 4). Jacobs et al., 2014 menciona que el uso de este tipo de método de matriz es uno de los más populares, completos y fácil de aplicar en la actualidad, además de dar como resultado un producto cartografiable.

Figura 4: Ejemplo de Matriz de Usos y Cobertura del suelo y Servicios Ecosistémicos.



Fuente: Jacobs et al., (2014).

Burkhard et al. (2009) detalla que la disposición de los datos en la matriz será ubicando en filas las unidades geoespaciales y en columnas los servicios de los ecosistemas. La capacidad de la unidad espacial particular para proporcionar un servicio se estima en cada intersección de las variables descritas anteriormente. Para completar la matriz se Burkhard et al. (2009) define valores que van desde los valores 1 al 5 y que describen la capacidad relevante que tienen los usos y coberturas para proporcionar un Servicio Ecosistémicos determinado. Los valores descritos a continuación son los planteados por Burkhard:

- 0= capacidad no relevante
- 1= baja capacidad relevante
- 2= capacidad relevante
- 3= media capacidad relevante
- 4= alta capacidad relevante
- 5= muy alta capacidad relevante.

Es de importancia mencionar que una de las etapas más complicadas al utilizar este método de matriz, es que los valores con cuales se llena rellenan las intersecciones de las filas y columnas deben ser posteriormente evaluados y aceptados por un grupo de expertos calificados en el tema para que dicha metodología posea validez (Jacobs et al., 2014).

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Área de Estudio**

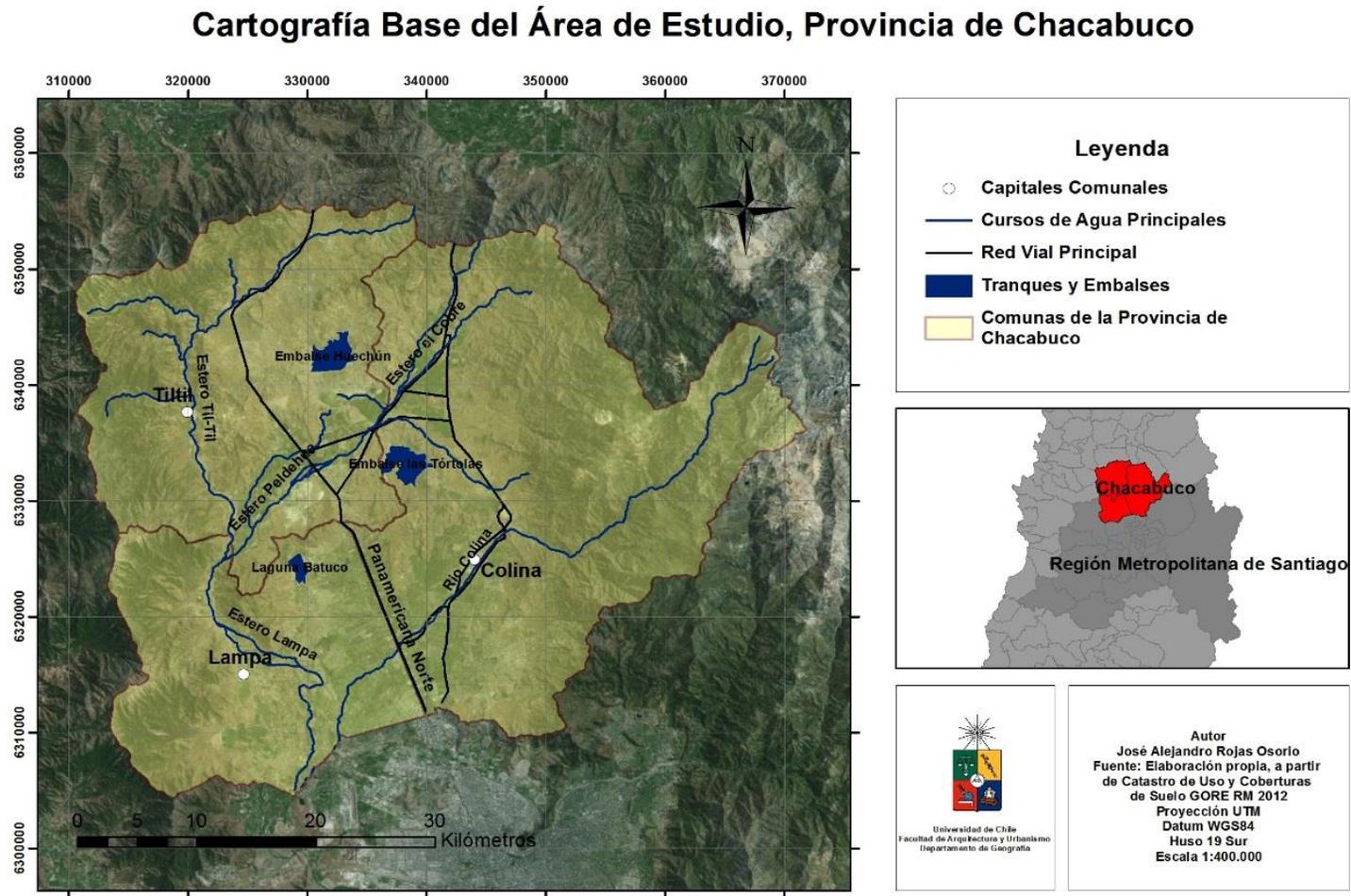
##### **3.1.1 Límites y superficie:**

El área de estudio definida para la investigación se localiza en parte norte de la cuenca de Santiago y corresponde política-administrativamente a los límites de la provincia de Chacabuco la cual considera tres comunas: Colina, Lampa y Til Til (Figura 5). Limita al norte y al oeste con la V región de Valparaíso, tanto que al sur y al este con la provincia de Santiago. Posee además una superficie de 5.615,2 km<sup>2</sup>.

---

<sup>5</sup> [Gobernacionchacabuco.gov.cl](http://Gobernacionchacabuco.gov.cl)

Figura 5: Cartografía del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.2 Demografía**

La provincia de Chacabuco presenta una población de 132,798 habitantes, de los cuales 99.201 son urbanos y 33.597 rurales (Censo, 2002), mientras que la población masculina es de 69.184 habitantes y la femenina de 63.614.

### **3.1.3 Red hídrica**

Existen varios cursos hídricos superficiales naturales y cuerpos de agua artificiales asociados a las actividades mineras de la zona las cuales han tenido un gran desarrollo en los últimos años. Entre los cursos de agua superficiales destacan el estero Chacabuco, Peldehue y los más importantes son el estero Til Til, Lampa y Colina, los cuales desembocan en el río Mapocho. Los cuerpos de agua artificiales y naturales más importantes son el embalse Huechún, las Tortolas y el Humedal de Batuco. (Rugiero, 2006)

### **3.1.4 Geomorfología**

En la zona se encuentran presente elementos tales como el cordón transversal montañoso de Chacabuco en el sector norte, un sector pre cordillerano hacia el este, el flanco oriental de la cordillera de la costa por el oeste y el sector de fondo de valle propiamente tal (Rugiero, 2006). En relación al fondo de valle, Araya-Vergara (1985), define la provincia como una cuenca sedimentaria con una tectónica conformada por depósitos aluviales, glaciales, fluviales y volcánicos, disectada por una red de drenaje que ha modelado el paisaje presente.

### **3.1.5 Biogeografía**

Las formaciones vegetacionales que son posibles de encontrar según Quintanilla (1983), corresponden al Matorral Espinoso de las Serranías, Bosque Espinoso Abierto, Bosque Esclerófilo de la pre-cordillera Andina, Matorral Andino Esclerófilo, Estepa Alto-Andina de Santiago y un piso altitudinal superior que presenta comunidades vegetales constituidas por plantas en cojín y gramíneas tales como Champa, Llaretta - Lletilla y Paja chica .

Se debe mencionar además que es un área en la cual hay presencia de fuertes condiciones de semiaridez, donde actualmente predominan los matorrales con casi un 50,8% del total de la superficie provincial. Este tipo de vegetación se localiza preferentemente en las laderas de la cuenca (Rugeiro, 2006).

### **3.2 Cambio Coberturas de Suelo.**

Para el estudio de los cambios en los usos del suelo se realizó un análisis multitemporal con la finalidad de compararlos en distintos periodos y analizar cómo ha sido la transformación del paisaje. Para ello se establecieron tres periodos de tiempo: desde 1984 - 1992, 1992 - 2001 y 2001-2012.

Primero, fue necesaria la obtención de imágenes satelitales multiespectrales del área de estudio que comprendieran el espectro temporal de la investigación, por lo cual se trabajó en base a imágenes LANSAT 5 (TM) con una resolución espacial de 30 x 30 metros.

Con imágenes multiespectrales se puede clasificar la superficie terrestre, y distinguir rocas superficiales y el suelo tanto por su composición y consolidación, delimitar terrenos pantanosos, distinguir entre suelos y cuerpos de agua, calcular la producción de biomasa entre otras características. Las combinaciones de banda están especificadas en orden rojo, verde, azul (RGB o RVA) (Fernández-Coppel y Herrero, 2001). Por ejemplo, en la combinación de banda 4,3,2, la banda 4 está desplegada como rojo, banda 3 como verde y banda 2 como azul.

Para llevar a cabo esta identificación de coberturas de suelo es necesario realizar la combinación correcta de bandas, en este caso color verdadero (Landsat TM / 321) y falso color (Landsat TM / 432). Estas combinaciones de bandas permiten resaltar las coberturas artificiales y las coberturas naturales con diferentes tonalidades (Fernández-Coppel y Herrero, 2001). La combinación de bandas 321 en color verdadero tiene un producto similar a una fotografía de color natural. La combinación 432 en falso color posee buena sensibilidad o respuesta a la vegetación verde (la cual se aprecia en tonalidades rojas). En rojo o magenta se aprecia la vegetación vigorosa, cultivos regados, prados de montaña o bosques de caducifolias. En color rosa se observan las áreas vegetadas menos densas y/o vegetación en temprano estado de crecimiento (Fernández-Coppel y Herrero, 2001)

Las tipologías de usos del suelo utilizadas de basaron en la propuesta por GORE, (2012) utilizada en la actualización de los usos del suelo para la Región Metropolitana y que a su vez se basa en Corine Land Cover (2006).

Dichas tipologías fueron modificada y adecuadas al área de estudio (Ver Anexo A, Tabla 10).

Se utilizó la técnica de la fotointerpretación para identificar los elementos espaciales presentes en el paisaje a una escala de detalle 1:100.000 considerada acorde en relación a la superficie total del área de estudio. Fue necesario el apoyo del *software* libre *Google Earth*, ya que se requirió un mayor nivel de detalle para dirimir a qué clase de cobertura correspondía un determinado polígono.

Para el manejo de las bases de datos geoespaciales y procesamiento digital de las imágenes se empleó el *software SIG* ArcGis versión 10.2. Por medio de este *software* se estimaron las variaciones que tuvieron los usos y coberturas del suelo para los distintos años de estudios, además de permitir la representación cartográfica de los resultados.

Para la evaluación del cambio de las coberturas de suelo entre periodos, se trabajó en formato *ráster* y se realizaron las estimaciones de los cambios por medio de la herramienta de ArcGis *Raster Calculator*. En cada año de estudio a las distintas coberturas vectoriales se les asignó un código. Luego estas fueron rasterizadas y combinadas para establecer los pixeles que habían cambiado, este proceso fue realizado usando una resta aritmética entre las coberturas de los años de interés. De esta forma el resultado obtenido del procesamiento de los datos en el *Raster Calculator* daría un producto con un nuevo código el que permitiría saber que cobertura cambió (perdida o ganancia) o se mantuvo de un año a otro.

Estos productos se convirtieron a formato vectorial y se eliminaron los polígonos con un área menor a 1 hectárea por considerar estos cambios no relevantes según la escala de trabajo y que se podrían deber a problemas técnicos con los bordes de los polígonos y procesos de transformación vector/raster.

Por último la presentación y comparación de los datos se hizo a través de gráficos y tablas trabajados en el *software* Microsoft Excel. En este caso se estimó considerar el porcentaje de cambio de las coberturas en relación a la superficie inicial que presentaban (considerado como cien por ciento), por lo cual un alto porcentaje de variación no necesariamente equivale o representa un cambio sustancial en cuanto a superficie absoluta. En los casos que se muestran elevados porcentajes de cambio quiere decir principalmente que coberturas con poca superficie en el año inicial aumentaron de forma considerable en el periodo analizado. En los casos de la aparición o pérdida de una cobertura esto fue considerado como un cambio de un 100%.

### **3.3 Métricas del paisaje**

En esta memoria se calcularon algunas métricas del paisaje con la finalidad de complementar el análisis de las variaciones de coberturas del suelo y observar el cambio en la estructura del paisaje (ej. Índice del parche más grande, tamaño promedio de los parches, índice de conectividad entre otros). Se trabajó tanto a nivel clase (cobertura de suelo) como de paisaje (todas las coberturas de suelo).

Las métricas del paisaje se calcularon en el *software* *Fragstats* versión 4.2 de licencia gratuita, debido a su consideración como uno de los más completos al

momento de realizar un análisis de este tipo. Se seleccionaron las siguientes métricas más representativas acorde a la temática de estudio y a la característica de los datos a procesar (McGarigal et al., 2002)

- Área total (Class area y total area - CA/TA)
- Numero de parches (Number of patches - NP)
- Densidad de parches (Patch density - PD)
- Tamaño promedio de parches (Mean patch size - MPS).
- Índice del parche más grande (Largest patch index - LPI): LPI es el área (m<sup>2</sup>).
- Distancia euclidiana promedio del vecino más cercano (Euclidean mean nearest-neighbor distance - ENN\_MN).
- Porcentaje del Paisaje (Percentage of Landscape - PLAND).

Los resultados de las métricas se obtuvieron en formato compatible con el programa Microsoft Excel, lo que permitió realizar la presentación de los datos en formato de tablas y comparar el comportamiento de ellos en los periodos de estudio tanto a nivel de clase como de paisaje. Esta información consiste en un conjunto de valores numéricos (una parte de ellos con un rango de variación definido) que desde el punto de vista de su valor comparativo pueden aportar una información muy valiosa acerca de la evolución y cambios que tienen lugar en un paisaje determinado, o a la hora de comparar diferentes paisajes (Aguilera, 2010).

### 3.4 Evaluación de Servicios Ecosistémicos

Para desarrollar el tercer objetivo se consideró la metodología propuesta por Burkhard et al. (2009), con la elaboración de una matriz de doble entrada que contiene en las filas los usos y coberturas y en las columnas los Servicios Ecosistémicos. En esta se evalúa la capacidad o aptitud de los diferentes tipos de unidades geoespaciales (coberturas de suelo) para proporcionar un Servicio Ecosistémico. La Figura 6 ejemplifica como es la matriz una vez construida y valorada.

Figura 6: Matriz de Evaluación de Servicios Ecosistémicos de Burkhard.

CORINE land cover type:	Ecological integrity $\Sigma$	Abiotic heterogeneity	Biotic heterogeneity	Biotic waterflows	Metabolic efficiency	Energy Capture (Radiation)	Reduction of Nutrient loss	Storage capacity (SOM)	Regulating services $\Sigma$	Local climate regulation	Eboreal climate regulation	Flood protection	Groundwater recharge	Air Quality Regulation	Erosion Regulation	Nutrient regulation	Water purification	Pollination	Provisioning services $\Sigma$	Crops	Livestock	Fodder	Capture Fisheries	Aquaculture	Wild Foods	Timber	Wood Fuel	Energy	Bioremediation and Medicine	Cultural services $\Sigma$	Recreation & Aesthetic Values	Historic Value of Biodiversity
Continuous urban fabric	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Discontinuous urban fabric	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Industrial or commercial units	12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Road and rail networks	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Port areas	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Airports	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Mineral extraction sites	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dump sites	8	2	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Construction sites	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Green urban areas	16	3	3	2	1	4	3	2	11	2	1	0	2	1	2	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	
Sport and leisure facilities	16	2	2	1	4	3	2	0	9	1	1	0	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-irrigated arable land	22	3	2	3	4	5	1	4	5	2	1	1	1	0	0	0	0	21	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Permanently irrigated land	21	3	2	5	2	5	1	3	5	3	1	1	0	0	0	0	0	18	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ricefields	20	3	2	5	1	5	1	3	4	2	0	0	2	0	0	0	0	7	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vineyards	14	3	2	3	1	3	0	2	3	1	1	0	1	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fruit trees and berries	21	4	3	4	2	3	2	3	19	2	2	2	2	2	2	1	1	15	13	4	0	0	0	0	0	4	4	1	0	0	0	
Olive groves	17	3	2	3	2	3	1	3	7	1	1	0	1	1	1	1	1	12	4	0	0	0	0	0	0	4	4	1	0	0	0	
Pastures	24	2	2	4	5	5	2	4	9	1	1	1	1	0	4	0	0	10	0	5	5	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
Annual and permanent crops	18	2	2	3	2	4	2	3	7	2	1	1	1	1	1	0	0	20	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Complex cultivation patterns	20	4	3	3	2	4	1	3	5	2	1	1	1	0	0	0	0	9	4	0	3	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	
Agriculture & natural vegetation	19	3	3	3	2	3	2	3	13	3	1	2	1	3	0	0	0	21	3	3	2	0	0	0	3	3	3	2	1	0	0	
Agro-forestry areas	27	4	4	4	3	4	4	4	13	2	1	1	1	1	1	1	1	13	4	3	2	0	0	0	0	3	3	2	0	0	0	
Broad-leaved forest	31	3	4	5	4	5	5	5	30	5	4	3	2	5	5	5	5	21	0	0	1	0	0	0	5	5	5	1	5	0	0	
Coniferous forest	30	3	4	4	4	5	5	5	30	5	4	3	2	5	5	5	5	21	0	0	0	0	0	0	5	5	5	1	5	0	0	
Mixed forest	32	3	4	4	4	5	5	5	30	5	4	3	2	5	5	5	5	21	0	0	0	0	0	0	5	5	5	1	5	0	0	
Natural grassland	30	3	5	4	4	4	5	5	22	2	3	1	1	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Moors and heathland	30	3	4	4	5	4	5	5	20	4	3	2	2	0	0	0	3	4	2	10	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	
Sclerophyllous vegetation	21	3	4	2	3	3	4	2	7	2	1	1	1	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Transitional woodland shrub	21	3	4	2	3	3	4	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
Beaches, dunes and sand plains	10	3	3	1	1	1	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bare rock	6	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sparsely vegetated areas	9	2	3	1	0	1	1	1	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Burkhard et al., (2009), Jacobs et al., (2014).

La matriz original se adaptó considerando funciones ecológicas en vez de integridad ecológica y se complementó con otros servicios culturales a evaluar. Esta aproximación asume que la capacidad para sustentar Funciones Ecosistémicas y proveer Servicios Ecosistémicos es igual para las zonas con la misma cubierta de suelo y, en general, difiere en áreas con diferentes coberturas de suelo.

El trabajo consistió por lo tanto, en acercar esta metodología al contexto del área en estudio y a la realidad nacional, ya que consideraba un escenario europeo en su aplicación variando en cuanto a los tipos de usos y coberturas del suelo presentes y a la configuración que presenta el paisaje. Para completar la matriz se consultó a 4 expertos en evaluación de Servicios Ecosistémicos y con experiencia en ejercicios similares, para realizar la valoración de la matriz. A cada experto se le proporcionó una matriz con la valoración usada y propuesta por Burkhard, (2009) y adaptada a las coberturas presentes en el área de estudio. La valoración está constituida por un rango de valores que abarca desde el valor “0” al valor “5” como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Valoración de los servicios Ecosistémicos.

Valor	Capacidad de proveer funciones o servicios
0	No hay capacidad
1	Muy baja capacidad relevante
2	Baja capacidad relevante
3	Mediana capacidad relevante
4	Alta capacidad relevante

Fuente: Burkhard et al., (2009), Jacobs et al., (2014).

La duración promedio de la evaluación fue aproximadamente de 60 minutos. Junto con lo anterior, a los expertos se les proporcionó una guía con las diferentes definiciones de los usos y coberturas del suelo, así como con la definición de las Funciones y Servicios Ecosistémicos a considerar (Ver Anexo A, Tabla 10 y Tabla 11). Para elaboración de la matriz se consideraron 8 Funciones Ecológicas y 23 Servicios Ecosistémicos complementados para su coherencia con la investigación, es decir, un total de 31 FE y SE y 22 coberturas del suelo.

Obtenidos los resultados de la consulta a expertos, se integraron las valoraciones individuales en una misma matriz final considerando la moda aritmética. Posteriormente, para estimar el número de funciones y servicios provistos por cada cobertura de suelo se realizó un procedimiento de estandarización de los datos similar al propuesto por Petter et al. (2013), en donde a los valores entre 0 y 2 se les asignó el valor 0 y a los valores entre 3 y 5 se les asignó el valor 1. El 0 representaba nula o muy baja capacidad de proveer funciones y servicios mientras que el 1 presentaba una capacidad relevante de Provisión resultando una segunda matriz que muestra la cantidad de funciones y servicios tanto por separado como la suma total de ellos para cada cobertura del suelo.

Luego se analizó el cambio de funciones y servicios, al comparar el cambio en el número de estos de un año a otro. Además, se calculó y analizó el área en términos absolutos y relativos que experimentaba cambios, ya sea pérdida de funciones y servicios o incremento en el número de estos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Cambios generales de los usos del suelo

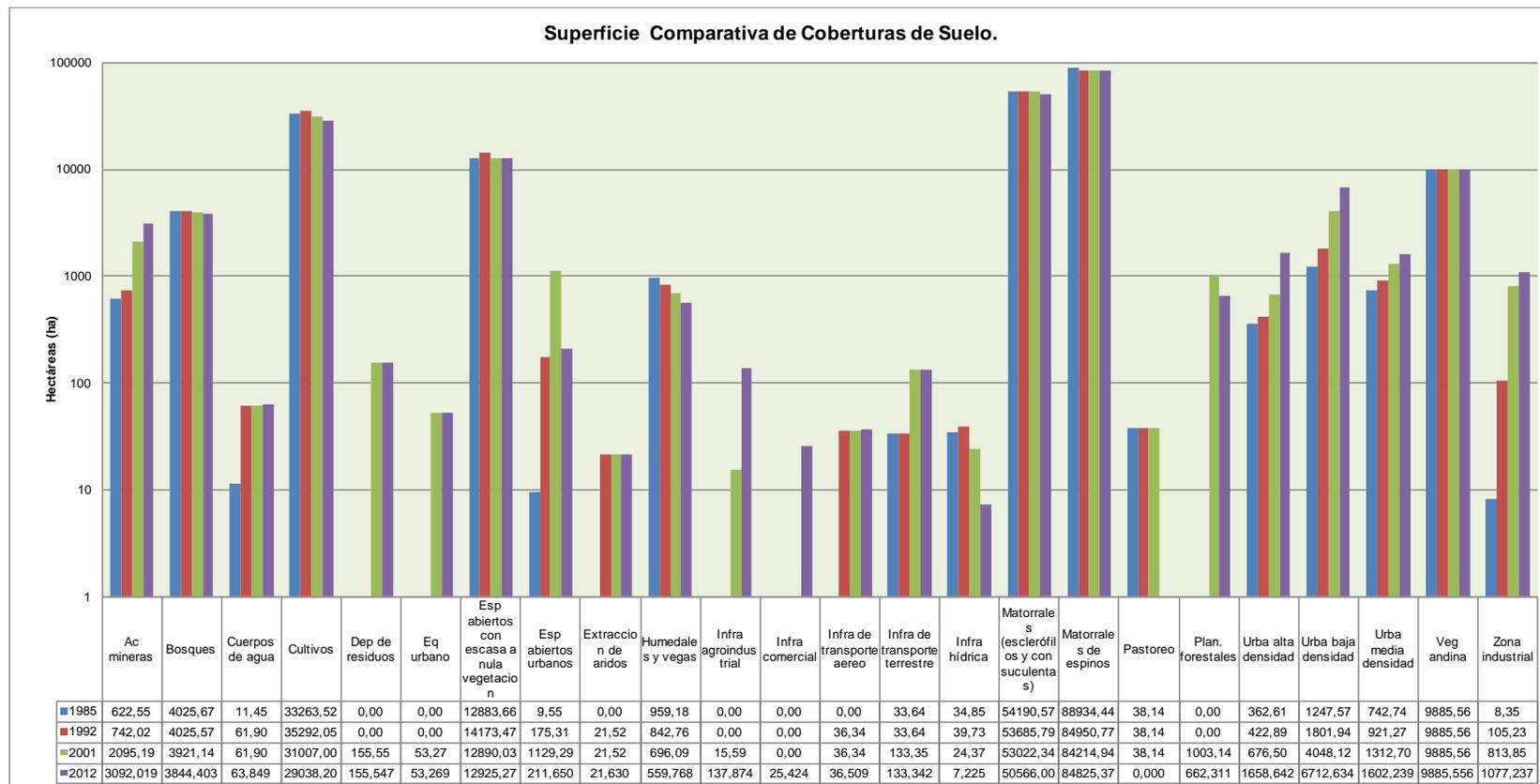
Se destaca que los usos y coberturas del suelo que presentan una tendencia al incremento de superficie son los urbanizados. Lo anterior nos permite evidenciar como las dinámicas que presenta el paisaje y las perturbaciones o presiones al que este se ve sometido, están siendo marcadas por la expansión de las actividades humanas en el área de estudio. En la Figura 7 se observan las superficies de las coberturas del suelo para los distintos años, en donde se aprecia una tendencia al aumento de las actividades mineras, zonas industriales, infraestructura agroindustrial, espacios abiertos urbanos, depósitos de residuos y equipamiento urbano. Destaca la acelerada urbanización de alta, media y abaja densidad. Por otro lado, las coberturas que presentan tendencia a la pérdida son: infraestructura hídrica, humedales y vegas, infraestructura hídrica y cultivos. Por último, las coberturas que presentan tendencia a mantenerse estables son coberturas naturales como la vegetación andina, matorrales de espinos, matorrales esclerófilos, espacios abiertos con escasa a nula vegetación, bosques, cuerpos de agua, e infraestructura de transporte aéreo e infraestructura de transporte terrestre, plantaciones forestales.

En la Tabla 2 se muestran el total de las variaciones de las coberturas y usos de suelo en relación a la superficie total del área de estudio en donde menos del 90% de ella ha sido afectado por los cambios mientras que los cambios se encuentran entre un 4,08% y 6.66% del total del área.

Tabla 2: Área y porcentaje de cambio total de coberturas de suelo.

	1985-1992		1992-2001		2001-2012	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%
Cambio	8452,27	4,08	13812,21	6,66	12550,29	6,06
Sin Cambio	198799,68	95,92	193439,69	93,34	194701,39	93,94

Figura 7: Gráfico comparativo de superficie de las coberturas de suelo de la provincia de Chacabuco para el periodo 1985 - 2012.



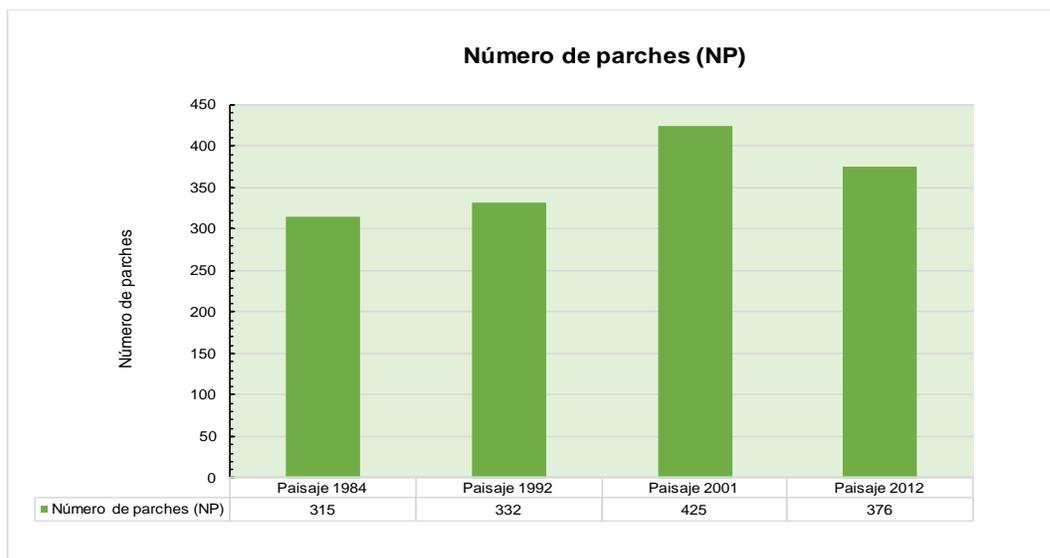
En una aproximación a los resultados se observa en la Tabla 3, las principales coberturas del suelo según superficie y según la métrica calculada correspondiente al porcentaje del paisaje que ocupan dichas coberturas. Entre los valores más altos expuestos en la tabla se observa que estos corresponden a coberturas naturales y que presentan un patrón dominante sobre las demás. Al referirse a coberturas dominantes se alude a superficie provista, es decir, existen grandes parches que permanecen constantes, y que estos afectan los resultados de los cálculos de parches de tamaños promedios y pequeños. El caso más relevante es el de los matorrales de espinos donde su superficie equivale en promedio en los cuatro años a un 40% del total del paisaje. Le siguen en importancia los matorrales esclerófilos con un porcentaje promedio de 25,40% y los cultivos con un 16%. Sin embargo para el año 2001 y 2012 aparece la urbanización de baja densidad con valores de ocupación considerable en el paisaje en relación a los que presentaba en años anteriores (menos del 1%) alcanzando un 1,95% y 3,24% respectivamente.

Tabla 3: Superficie y porcentaje de ocupación de las principales coberturas.

	1985		1992		2001		2012	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%
Matorrales de espinos	88934,44	42,91	84950,77	40,99	84214,94	40,63	84825,37	40,93
Matorrales (esclerófilos y con suculentas)	54190,57	26,15	53685,79	25,90	53022,34	25,58	50566,01	24,40
Cultivos	33263,52	16,05	35292,05	17,03	31007,00	14,96	29038,21	14,01
Espacios abiertos con escasa a nula vegetación	12883,66	6,22	14173,47	6,84	12890,03	6,22	12925,27	6,24
Vegetación andina	9885,56	4,77	9885,56	4,77	9885,56	4,77	9885,56	4,77
Bosques	4025,67	1,94	4025,57	1,94	3921,14	1,89	3844,40	1,85
Urbanización de baja densidad	1247,57	0,60	1801,94	0,87	4048,12	1,95	6712,63	3,24

A nivel de paisaje, otra de las métricas comunes para evaluar la estructura paisajística corresponde al número de parches presentes. En la Figura 8 se muestra el comportamiento de esta métrica donde hay una tendencia al aumento en el número de parches alcanzando su máximo de 425 en el año 2001 y descendiendo levemente para el 2012. La diferencia fue de 110 parches desde el año 1985 hasta el máximo alcanzado en 2001. Lo anterior se podría vincular a que en estos años (2001-2012) hubo un alto porcentaje de ganancia de las actividades mineras, urbanización de baja densidad y espacios abiertos urbanos, como se detallará más adelante. El leve descenso que muestra el gráfico se debe a la disminución del número de parches de los espacios abiertos urbanos, ya que en 2012 presentaron la conversión a otro uso urbano. Además se aprecia especialmente una consolidación tanto de la urbanización de baja, media densidad y de la actividad industrial por medio de la cercanía de sus polígonos y de un mayor grado de conectividad.

Figura 8: Número de parches por año.



## **4.2 Cambio Usos y Coberturas periodo 1985 - 1992**

Para este periodo en la Tabla 4 se expone la superficie y los porcentajes de cambio de las distintas coberturas presentes en área de estudio donde 15 de un total de 24 coberturas presentaron algún tipo cambio. Entre 1985 y 1992 el número de parches aumentó de 315 presentes a 332. Se destaca la infraestructura de transporte aéreo y extracción de áridos, ya que corresponden a usos que en 1985 no existían, y por lo tanto, presentan un porcentaje de cambio de un 100%.

Los usos que experimentaron tendencia al aumento de superficie y altos porcentajes de cambio son los espacios abiertos urbanos (1735,67%) lo que se piensa como un insipiente impulso en el desarrollo urbano e industrial con terrenos aptos para la construcción pasando de poseer un polígono en 1985 a 5 en 1992 con un tamaño promedio de 32,12 hectáreas, pero con una distancia promedio de 49,82 kilómetros lo cual muestra que aún es uso aun no consolidado. Las zonas industriales (aumento de 1159,88%) en el sector sur de la provincia en torno a la ruta panamericana norte siguen la tendencia del inicial polo de desarrollo industrial de la comuna de Quilicura. Este uso presenta un aumento en la cantidad de parches que lo componen, pero acompañado de una disminución en la distancia promedio de sus partes de 9,21 kilómetros en 1985 a 4,41 en 1992. Los cuerpos de agua por su parte también presentaron un aumento de superficie (440,62%) ya que este consideraba solo la planta de tratamiento de aguas ubicada en las cercanías de Batuco. En menor medida los espacios abiertos con escasa o nula vegetación (10,01%), las actividades mineras (19,19%) con un insipiente crecimiento de la actividad en la zona, pero que ya se observa en el paisaje por medio de la

construcción de infraestructura asociada como son los tranques de relaves, y por último los cultivos (6,10%). La urbanización de baja densidad (44,44%), urbanización de media densidad (24,04%) y urbanización de alta densidad (16,62%) también presentaron valores considerables de cambio lo que refleja espacialmente la tendencia al aumento de la población. Las coberturas que presentaron las mayores pérdidas de superficie corresponden a: humedales y vegas (-12,14%) reemplazado por matorrales de espinos y cultivos, y matorrales de espinos (-4,48%) con una conversión principalmente a cultivos, urbanización de baja densidad y actividades mineras.

Tabla 4: Superficie y porcentaje de variación de las coberturas de suelo para el periodo 1984 – 1992.

Coberturas	1985-1992	
	Superficie (ha)	% de cambio
Espacios abiertos urbanos	165,76	1735,67
Zona industrial	96,88	1159,88
Cuerpos de agua	50,45	440,62
Extracción de áridos	21,52	100,00
Infraestructura de transporte aéreo	36,34	100,00
Urbanización de baja densidad	554,37	44,44
Urbanización de media densidad	178,53	24,04
Actividades mineras	119,47	19,19
Urbanización de alta densidad	60,28	16,62
Infraestructura hídrica	4,87	13,99
Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	1289,80	10,01
Cultivos	2028,54	6,10
Infraestructura agroindustrial	0,00	0,00
Equipamiento urbano	0,00	0,00
Depositos de residuos	0,00	0,00
Infraestructura comercial	0,00	0,00
Plantaciones forestales	0,00	0,00
Vegetación andina	0,00	0,00
Pastoreo	0,00	0,00
Infraestructura de transporte terrestre	0,00	0,00
Bosques	-0,10	0,00
Matorrales esclerofilos y con suculentas)	-504,78	-0,93
Matorrales de espinos	-3983,67	-4,48
Humedales y vegas	-116,41	-12,14

### **4.3 Cambio Usos y Coberturas periodo 1992 - 2001**

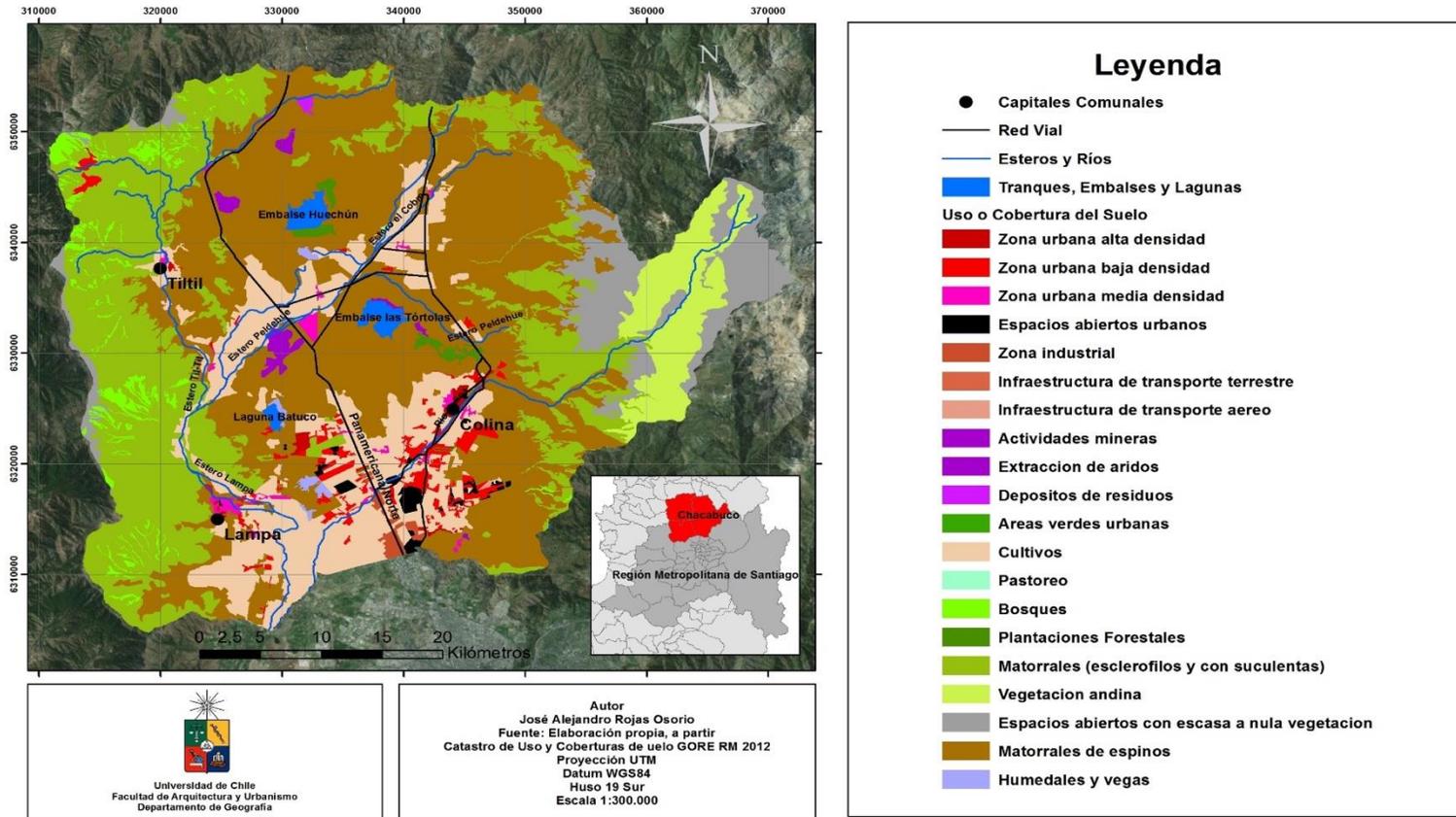
En este periodo se obtuvo el mayor valor de número de parches presentes en el paisaje con un total de 425 polígonos que aumentaron en 83 unidades desde 1992 a 2001 y en 110 desde 1985 a 2001. Se aprecia en la Tabla 5 que 18 de las 24 coberturas presentaron algún tipo de cambio de superficie, destacando la aparición de cuatro nuevos usos de suelo: depósitos de residuos, equipamiento urbano, infraestructura agroindustrial y plantaciones forestales. Tres de estos nuevos usos surgen como complemento al desarrollo urbano que ya tiene lugar en la provincia y que ayudan a suplir las demandas requeridas, por ejemplo, un lugar donde llevar a cabo la recolección de los residuos y el requerimiento de áreas verdes urbanas.

La aparición de estos nuevos usos urbanos junto al desarrollo experimentado por los ya establecidos da cuenta de la configuración que está tomando el paisaje. Lo anterior se explica con los porcentajes de cambio considerables de la urbanización de baja densidad (124,65%) principalmente en las cercanías a Colina, urbanización de alta densidad (59,97%) y urbanización de media densidad (42,49%) así como el aumento de la zona industrial (673,40%), espacios abiertos urbanos (544,16%) cercano a Colina y Lampa, infraestructura terrestre (296,41%) y actividades mineras (182, 36 %). Las características que presentó la urbanización de baja densidad fue aumento tanto de sus polígonos (44 a 56 polígonos) como del tamaño promedio (32,20 a 47,67 hectáreas) y con una disminución en la distancia entre ellos (12,97 a 4,33 kilómetros) mientras que, los otros tipos de urbanización sólo mostraron un aumento en el tamaño promedio de los polígonos. La zona

industrial comienza a consolidarse en el sector sur ya que si bien hay un leve aumento de sus polígonos (7 a 9), el tamaño promedio de ellos se incrementa considerablemente de 15,59 a 90,44 hectáreas y disminuye la distancia de 4,41 a 1,26 kilómetros estando más próximos unos de otros (Figura 9).

Figura 9: Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo 2001.

### Uso y Coberturas del Suelo, Provincia de Chacabuco, 2001



Fuente: Elaboracion propia

De las 18 coberturas que presentaron cambios, 7 de ellas mostraron una tendencia a la disminución tal como: la infraestructura hídrica (-38,66%), humedales y vegas (-17,40%) con conversión principalmente a matorrales de espinos, cultivos (-12,14 %) con cambio hacia matorrales de espinos, urbanización de baja densidad, espacios abiertos urbanos y zona industrial; Bosques (-2,59%) y matorrales de espinos (-0,97%) cambiando principalmente hacia actividades mineras y urbanización de baja densidad. Estos cambios negativos no afectan a las coberturas en cuanto al grado de fragmentación que pueden tener ya que el número de sus polígonos no disminuye, más bien la pérdida se experimenta en la disminución del tamaño promedio de los polígonos que las componen.

Tabla 5: Superficie y porcentaje de variación de los usos del suelo para el periodo 1992 - 2001.

Coberturas	1992-2001	
	Superficie (ha)	% de cambio
Zona Industrial	708,62	673,40
Espacios Abiertos Urbanos	953,98	544,16
Infraestructura de Transporte Terrestre	99,71	296,41
Actividades Mineras	1353,17	182,36
Urbana Baja Densidad	2246,18	124,65
Infraestructura Agroindustrial	15,59	100,00
Equipamiento Urbano	53,27	100,00
Depositos de Residuos	155,55	100,00
Plantaciones Forestales	1003,14	100,00
Urbana Alta Densidad	253,61	59,97
Urbana Media Densidad	391,43	42,49
Cuerpos de Agua	0,00	0,00
Extracción de Áridos	0,00	0,00
Infraestructura de Transporte Aéreo	0,00	0,00
Infraestructura Comercial	0,00	0,00
Vegetación Andina	0,00	0,00
Pastoreo	0,00	0,00
Matorrales de Espinos	-735,83	-0,87
Matorrales (esclerofilos y con succulentas)	-663,45	-1,24
Bosques	-104,43	-2,59
Espacios Abiertos con Escasa o Nula Vegetación	-1283,44	-9,06
Cultivos	-4285,05	-12,14
Humedales y Vegas	-146,68	-17,40
Infraestructura Hídrica	-15,36	-38,66

#### 4.4 Cambio Usos y Coberturas periodo 2001 - 2012

El último periodo de estudio mostró que 20 de las 24 coberturas presentes mostraba algún tipo de cambio (Tabla 6) lo cual no es menor considerando un total de 24.

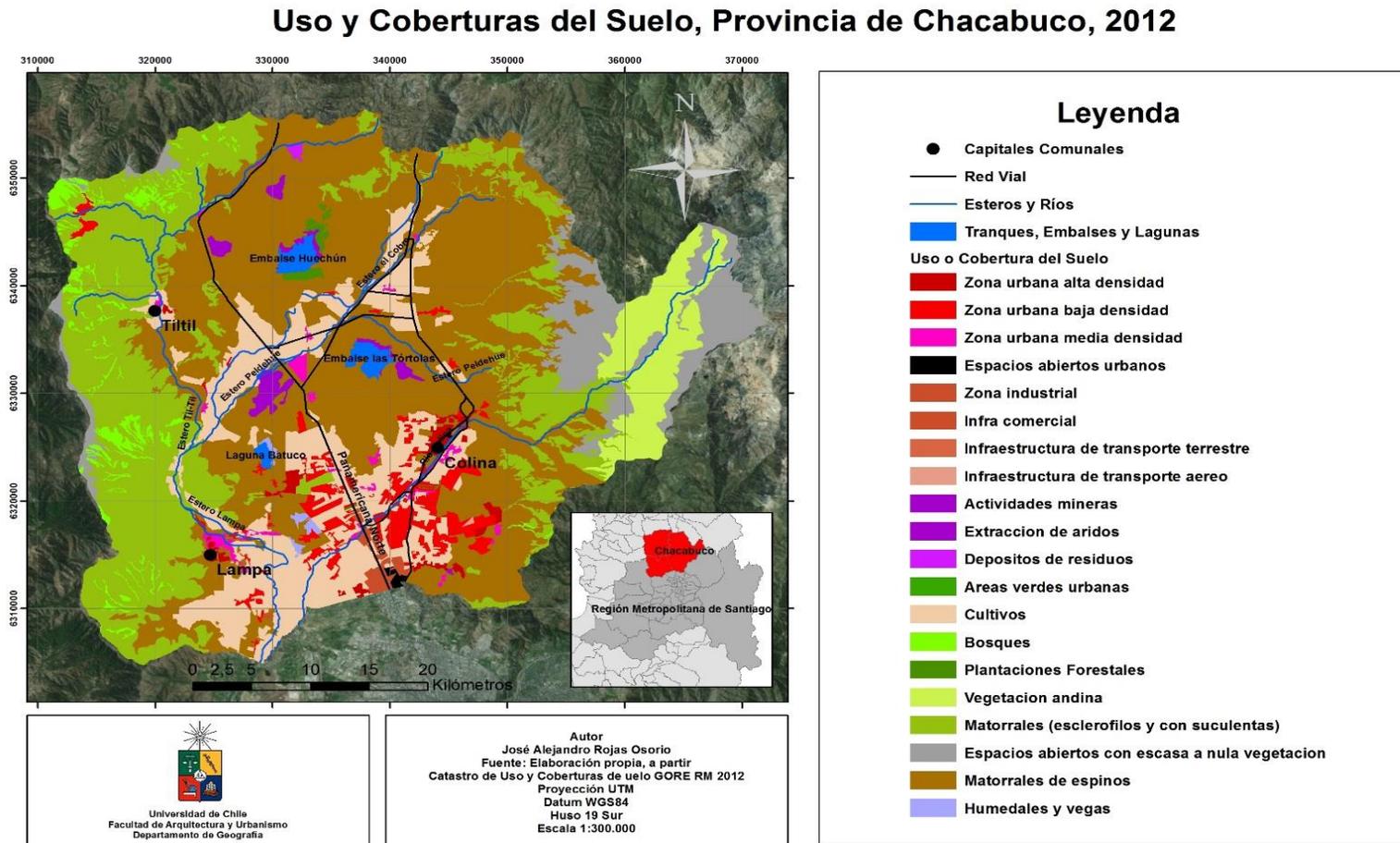
Tabla 6: Superficie y porcentaje de variación de los usos del suelo para el periodo 2001 – 2012.

Coberturas	2001-2012	
	Superficie (ha)	% de cambio
Infraestructura industrial	122,28	784,30
Urbana alta densidad	982,14	145,18
Infraestructura comercial	25,42	100,00
Urbana baja densidad	2664,52	65,82
Actividades mineras	996,83	47,58
Zona industrial	263,38	32,36
Urbana media densidad	289,54	22,06
Cuerpos de agua	1,95	3,16
Matorrales de espinos	610,43	0,72
Extracción de áridos	0,11	0,52
Infraestructura de transporte aéreo	0,17	0,46
Espacios abiertos con escasa o nula vegetación	35,24	0,27
Equipamiento urbano	0,00	0,00
Depositos de residuos	0,00	0,00
Infraestructura de transporte terrestre	0,00	0,00
Vegetación andina	0,00	0,00
Bosques	-76,73	-1,96
Matorrales esclerofilos y con suculentas	-2456,33	-4,63
Cultivos	-1968,79	-6,35
Humedales y vegas	-136,32	-19,58
Plantaciones forestales	-340,83	-33,98
Infraestructura hídrica	-17,14	-70,35
Espacios abiertos urbanos	-917,64	-81,26
Pastoreo	-38,14	-100,00

Continúa la tendencia del aumento de los usos urbanos con porcentajes considerables de crecimiento, por ejemplo, la urbanización de alta densidad (145,18%) y media densidad (22,06) principalmente en centros poblados ya establecidos tales como Lampa y Colina, urbanización de baja densidad (65,82%)

en la zona sur también cercana a Colina y en menor medida en las cercanías a Lampa. Las actividades mineras (47,68%) siguen con un desarrollo considerable de su actividad reflejado en el número y crecimiento de la infraestructura asociada, y la zona industrial (32,365) se muestra espacialmente como una zona consolidada en torno a la ruta panamericana norte (Figura 10). Este es el primer periodo en el cual la urbanización de baja densidad muestra un retroceso en la cantidad de polígonos que presenta (85 a 65), sin embargo esto se explica por la consolidación y homogenización de la cobertura del paisaje, por medio del aumento del tamaño de los polígonos desde 47,67 a 102 hectáreas. El mismo proceso experimenta el uso industrial con la disminución del número de polígonos que lo componen, pero acompañado de un aumento del tamaño promedio de 90,44 a 179,04 hectáreas y un incremento en la proximidad de ellos dados por la disminución de la distancia a solo 0.69 kilómetros.

Figura 10: Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo 2012.



Fuente: Elaboracion propia

Las actividades mineras presentaron un incremento en superficie ya que el tamaño de sus polígonos también se incrementó desde 349 a 515 hectáreas fundamentalmente por el crecimiento que experimentó la infraestructura asociada a la actividad.

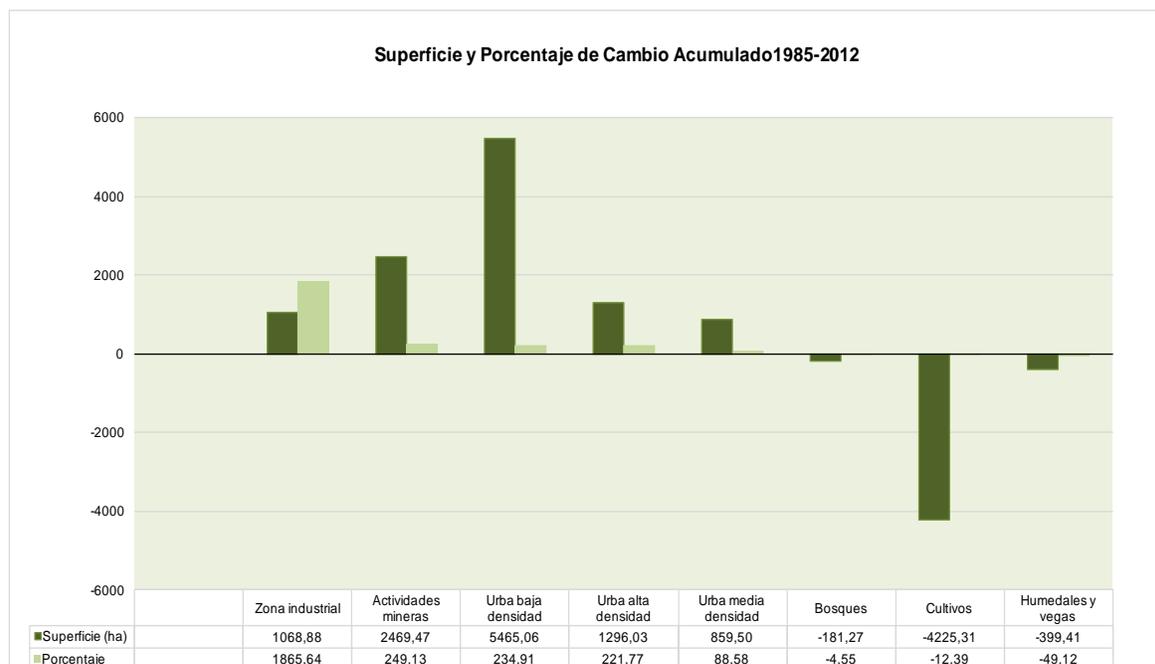
Por otra parte 8 de las 20 coberturas presentaron cambios negativos de pérdida de superficie. Se mantiene la tendencia al retroceso de superficie en humedales y vegas (-19,58%) con conversión a matorrales de espinos; infraestructura hídrica (-70,35%). También siguen esta tendencia las plantaciones forestales (-33,98%), cultivos (-6,35%) pasando matorrales de espinos y urbanización de baja densidad; matorral esclerófilo (-4,68%), espacios abierto urbanos (-81,26%) y bosques (-1,97%). La variación negativa y considerable que tuvieron los espacios abiertos urbanos se explica porque estos fueron transformados en el año 2012 en algún tipo de urbanización o uso industrial. En este caso corresponde al reemplazo por suelo del tipo urbano de baja, media densidad y de actividades industriales.

Ahora bien, si se realiza una comparación espacial de cómo ha sido el cambio estructural que ha tenido el paisaje la provincia de Chacabuco para los cuatro años de estudio: 1985-1992-2001-2012 por medio de las cartografías finales (Anexo B, Figura 18, Figura 19, Figura 9 Figura 10), se observa que si bien la configuración espacial del paisaje sigue estando marcada por coberturas naturales, la expansión urbana tanto como industrial y minera han tomado protagonismo en los últimos años. El crecimiento urbano se desarrolló principalmente en la zona sur del área de estudio ya que como se explicó teóricamente, este sector correspondía al desarrollo

natural del barrio alto. Además, a través de la fotointerpretación se identificó que el tipo de urbanización de baja densidad coincidía con lo que teóricamente se pensaba correspondiendo a subdivisiones de parcelas de agrado que en algunas casos se ubicaban en condominios. La zona industrial también tomó forma en la parte sur de la provincia, como se ha mencionado continuando con la expansión del núcleo de desarrollo industrial de la comuna de Quilicura y en torno a la autopista panamericana norte principalmente. Estos dos cambios más notorios en el paisaje reemplazaron suelo agrícola en un sector rural históricamente asociado a la tradición campesina, donde, dicha cobertura mostró un porcentaje de cambio desde 1985-2012 de un -19 % lo que representa una superficie total de -6394,79 hectáreas de suelo agrícola.

Si se consideran los cambios totales más importantes en cuanto pérdida de superficie, las coberturas afectadas son: humedales (-49,12), cultivos (-12,39) y bosques (-4,55%). Resulta importante observar el comportamiento de estas coberturas por su importancia tanto en el soporte de Funciones Ecosistémicas como de Provisión de Servicios Ecosistémicos. En el caso opuesto, los usos que mostraron ganancia de superficie más importante son: zona industrial (1865,64%), minería (249,13%), urbanización de baja densidad (234,91%), urbanización de alta densidad (221,77%) y urbanización de media densidad (88,58%).

Figura 11: Superficie y porcentaje de cambio 1985-2012.



#### 4.5 Matriz de Servicios Ecosistémicos

De la evaluación realizada por expertos en temáticas ecológicas, se obtuvo un primer producto correspondiente a la matriz integrada con las valoraciones del potencial de Provisión de Funciones y Servicios Ecosistémicos para las coberturas de suelo presentes en la provincia de Chacabuco (Anexo E, Figura 30,). Se observa que las mejores valoraciones de Provisión se obtuvieron para las coberturas naturales tanto en el soporte de funciones como de servicios de regulación y culturales y con valores menores para las coberturas urbanas donde se destaca el aporte de funciones y Servicios Culturales.

Un segundo producto corresponde a la matriz que mide la cantidad total tanto de funciones como de servicios por cada cobertura y uso evaluado (Anexo E, Figura

31). Se observa en esta matriz que tanto el soporte de funciones y la provisión de servicios se enfoca principalmente en las coberturas naturales además de ser la categoría mejor evaluada el soporte de Funciones Ecosistémicas.

Para exponer más en detalle el aporte de esta de la matriz final, se presenta a continuación un desglose de los resultados obtenidos expuestos gráficamente. Se consideró importante por la finalidad de esta memoria, considerar solo las coberturas que presentan la capacidad de sostener una determinada función o proveer un determinado servicio.

#### **4.6 Cambio de Funciones y Servicios Ecosistémicos.**

En la Tabla 7 se observan los valores de superficie y porcentaje tanto de cambio como sin cambio en las Funciones y Servicios Ecosistémicos evaluados por cada periodo de estudio. Se observa, que en general, el porcentaje de la superficie afectada por cambio en el número de servicios y funciones es relativamente baja en todos los periodos. Sin embargo, en términos absolutos estos cambios involucran superficies de miles de hectáreas según sea el periodo. La mayor variación de superficie afectada por cambios se dio al evaluar las Funciones Ecológicas con un porcentaje de cambio desde un 4,25% hasta un 5,48%, y los Servicios de Provisión desde un 3,26% a un 4,23%. Los periodos que presentaron mayores niveles de cambio fueron desde 1992-2001, seguido del periodo 2001-2012 y por último entre 1985-1992. El orden en que se presentan los periodos coinciden en el análisis de cambio coberturas de suelo donde el paisaje se vio afectado con mayor fuerza con las modificaciones y transformaciones de las coberturas y la aparición de nuevos

usos de suelo. Los servicios tanto de Regulación como Culturales, presentaron los menores valores de cambio totales con un valor aproximado de un 1% de cambio.

Tabla 7: Superficie afectada por cambio en el número de Funciones y Servicios Ecosistémicos.

Funciones	1985-1992		1992-2001		2001-2012	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Cambio	8801,34	4,25	13682,32	6,60	11351,36	5,48
Sin cambio	198455,02	95,75	193573,40	93,40	195904,09	94,52
<b>S. Provisión</b>						
Cambio	6746,83	3,26	9605,12	4,63	8772,33	4,23
Sin cambio	200509,76	96,74	197650,64	95,37	198483,12	95,77
<b>S.Regulación</b>						
Cambio	2016,63	0,97	1411,10	0,68	3173,05	1,53
Sin cambio	205240,35	99,03	205844,70	99,32	204083,76	98,47
<b>S. Culturales</b>						
Cambio	1102,97	0,54	1464,48	0,71	1000,18	0,48
Sin cambio	206153,85	100,00	205791,92	99,29	206244,18	99,51

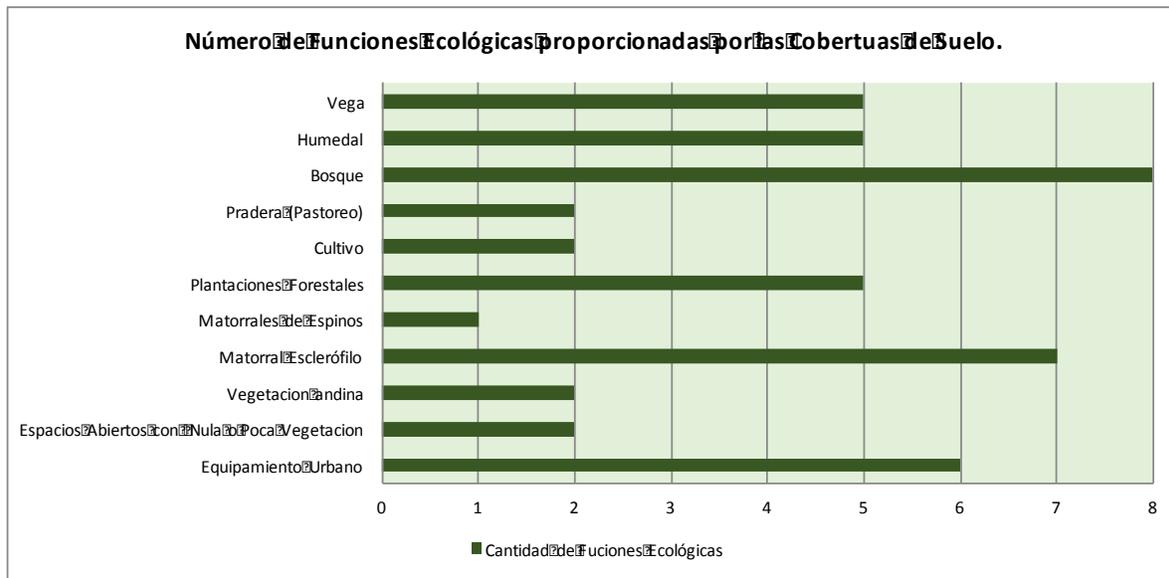
Tabla 8: Superficie total afectada por cambio de funciones y servicios desde 1985-2012

	1985-1992	1992-2001	2001-2012	1985-2012
<b>Funciones</b>	Hectáreas	Hectáreas	Hectáreas	Total
	1353,83	-7974,33	-7343,22	-13963,72
<b>S. Provisión</b>				
	1264,40	-4085,97	-4992,59	-7814,15
<b>S.Regulación</b>				
	-1030,13	-949,73	-2845,91	-4825,77
<b>S. Culturales</b>				
	-525,48	804,02	-538,22	-259,68
<b>Total</b>	1062,63	-12206,01	-15719,94	

En la Tabla 8 se muestran los cambios absolutos de superficie por cada periodo de análisis y el total desde 1985-2012. Los valores de superficie señalan la diferencia entre la ganancia y pérdida obtenida para cada periodo, observando desde 1985-2012 una tendencia a la pérdida de superficie que sostiene funciones y provee servicios. Los cambios se acentuaron principalmente en la pérdida de superficie de las Funciones Ecológicas con una cifra cerca de las 14000 hectáreas y disminuyendo en magnitud para las categorías de los servicios. Sin embargo, a pesar de existir una disminución en la magnitud de superficie de pérdida, esta corresponde a valores entre las 8000 y 5000 hectáreas.

Exponiendo los resultados más detalladamente, se identificó que sólo 11 coberturas de suelo mostraron capacidad de sostener alguna función ecológica (Figura 12), siendo la mayoría de ellas coberturas naturales a excepción de cultivos, plantaciones forestales y equipamiento urbano. Este último incorpora tanto plaza como parques, universidades, cementerios vegetados, campos de golf entre otros.

Figura 12: Funciones Ecológicas proporcionadas por las coberturas del suelo



La cobertura de bosques presenta la capacidad de sostener la totalidad de las 8 funciones Ecosistémicas. Otras cobertura como humedales (5), vegas(5), matorrales esclerófilos (7), plantaciones forestales (5) y equipamiento urbano (6) también presentaron una cantidad importante al momento de proveer distintos tipos de Funciones Ecológicas. Además, es importante destacar que los matorrales espinosos que ocupan gran parte de superficie del territorio estudiado tan solo

muestran la capacidad de proveer una Función Ecosistémica que corresponde a fotosíntesis y producción de oxígeno.

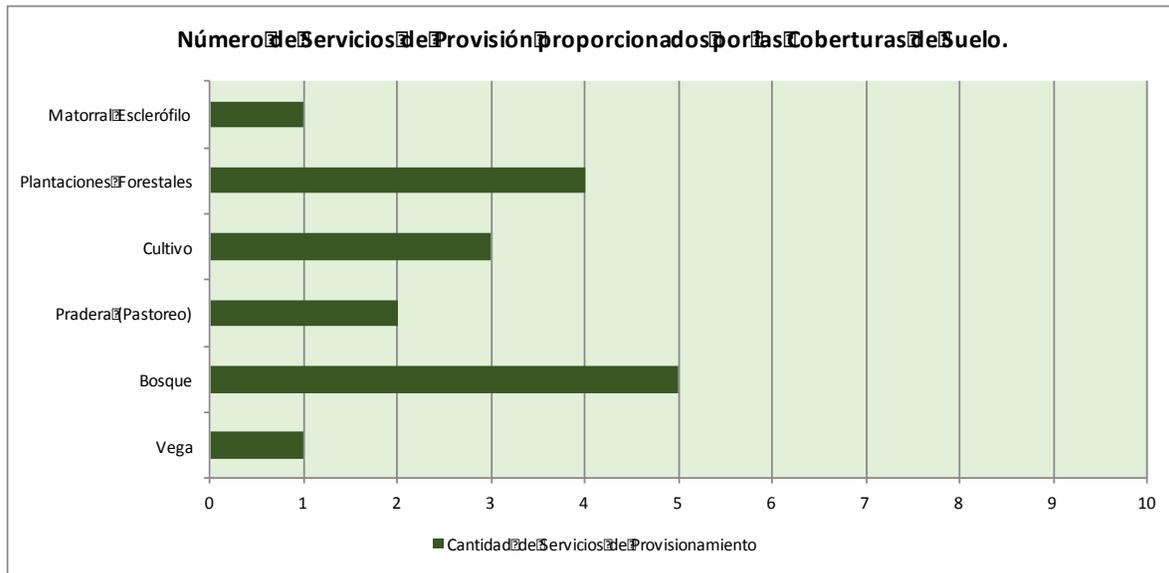
Además, se desprende de la matriz de funciones y servicios totales provistos (Anexo E, Figura 31) que las Funciones Ecosistémicas que pueden ser sostenidas por una mayor cantidad de coberturas de suelo son en primer lugar fotosíntesis y producción de oxígeno (9), seguido de biodiversidad de hábitat (7) y ciclo de nutrientes (7) y heterogeneidad abiótica (6).

En el caso de los Servicios de Provisión (

Figura 13) se observa que sólo 6 coberturas del suelo presentan capacidad de proveer alguno de estos servicios, y además, que la provisión alcanzó un valor máximo de 5 servicios de un total de 10 evaluados y que correspondió a la cobertura de bosques. Las siguientes coberturas en importancia son: plantaciones forestales y cultivos. Dentro de los servicios que presentaron mayor importancia destacan la ganadería, forraje y cultivos, la producción de madera y leña.

Por otra parte el menor aporte en número de servicios provisto correspondió a las coberturas de matorrales y humedales con solo 1 siendo estos: medicina general y forraje respectivamente.

Figura 13: Gráfico de Servicios de Provisión proporcionados por los Usos y Coberturas del Suelo.



Dentro de los Servicios de Regulación 6 coberturas de suelo presentan capacidad para proveer servicios de este tipo (Figura 14). Estas corresponden en primer lugar a la cobertura de bosques como la más importante por su capacidad de proveer la totalidad de los Servicios de Regulación evaluados (8) de igual forma que los Servicios de Provisión. Le sigue equipamiento urbano (4), por la importancia que tienen las áreas verdes urbanas principalmente en la calidad del aire y en la regulación del clima local, matorral esclerófilo y vegas (3), humedales (2) y pastoreo (1).

Los servicios mejor evaluados en cuanto a las coberturas con capacidad de proveerlos fueron: fueron el control de las inundaciones (4), la regulación del clima local (3), el control de la erosión (3) y la purificación del agua (3). Estos servicios mencionados concuerdan con los tipos de coberturas naturales que los proveen ya que, según los expertos consultados, las coberturas vegetacionales naturales son las que prestan mayor capacidad de proveer Servicios de Regulación.

Figura 14: Gráfico de Servicios de Regulación proporcionados por los Usos y Coberturas del Suelo.

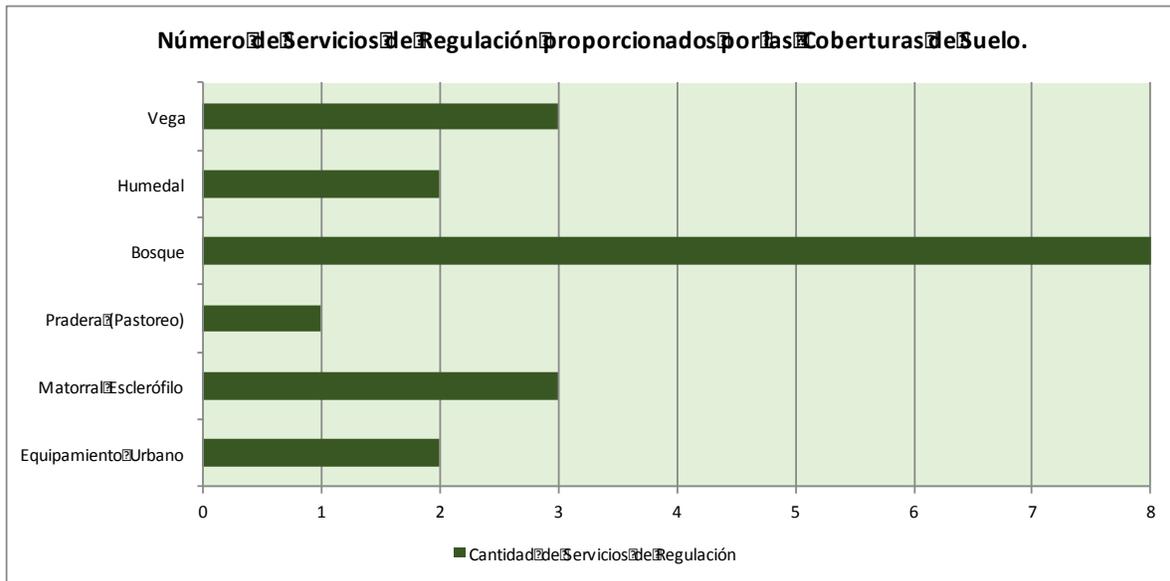
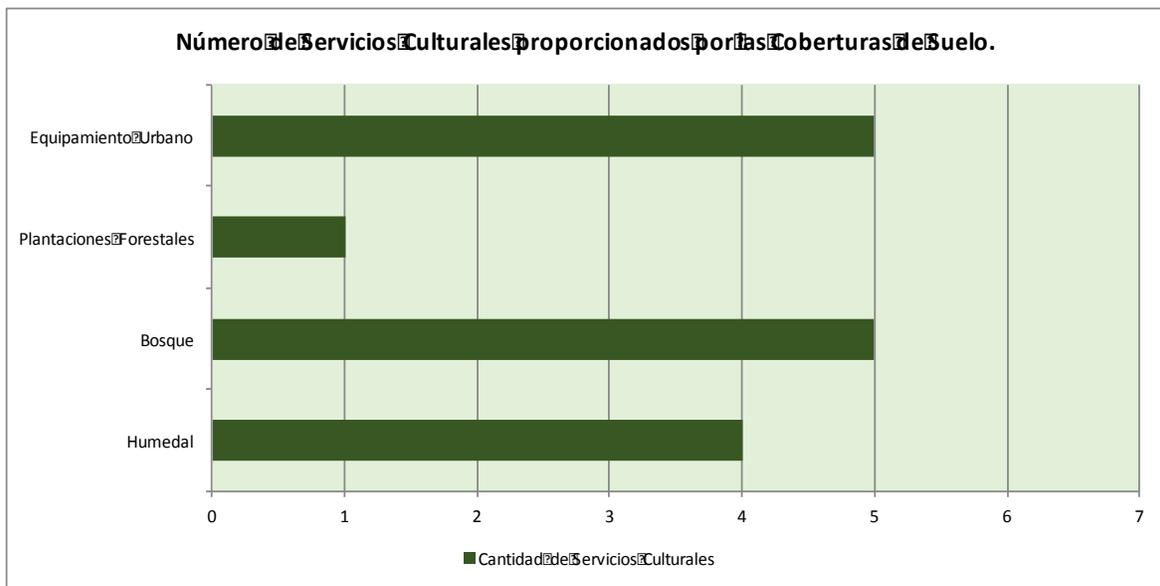


Figura 15: Gráfico de Servicios Culturales proporcionados por los Usos y Coberturas del suelo.



En los 7 Servicios Culturales evaluados sólo 4 coberturas de suelo mostraron capacidad relevante de proveer este tipo de servicios siendo, en primer lugar, las

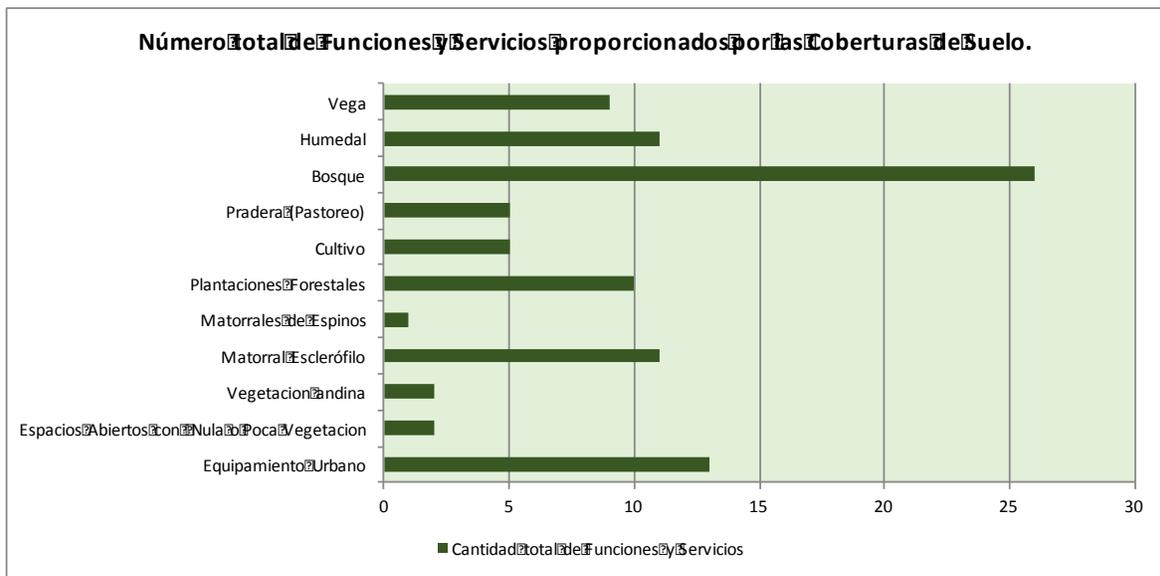
más importantes equipamiento urbano (5) y bosques (5) seguidos de humedales (4) y plantaciones forestales (1). Los Servicios Culturales mejor evaluados en cuanto a número de coberturas que los proveen resultaron ser: recreación y ecoturismo (4), valoración estética (3), el valor de inspiración (3) y por último el valor educacional (2).

El análisis total de provisión tanto de funciones y servicios contaba con 8 Funciones Ecológicas y 23 Servicios Ecosistémicos (31 elementos en total) acordes al área de estudio. Participaron sólo 11 coberturas de suelo en la provisión tanto de funciones como de servicios, de las cuales 10 son coberturas naturales y un uso urbano correspondiente a equipamiento urbano (Figura 16). Dentro de estas coberturas, bosques presentó la mejor capacidad de provisión con un total de 26 funciones y servicios totales donde además, en los gráficos expuestos anteriormente se observó en detalle su aporte tanto en la provisión de funciones como de los distintos servicios.

Las siguientes coberturas más importantes en cuanto a provisión total son: equipamientos urbano (13), matorral esclerófilo (11) y humedales (11). Lo anteriormente descrito coincide con el estado ecológico en que se encuentran estas coberturas, donde por medio de las métricas calculadas se mostró que los matorrales esclerófilos y bosques ocupan una gran extensión dentro del área de estudio, además de mostrar un alto grado de conectividad. Sin embargo se identificó además, que presentaban valores bajos de pérdida de superficie en relación a la cantidad total que ocupaban dentro del paisaje.

Por otra parte, para el resto de las coberturas naturales que no presentan un alto porcentaje de superficie vegetada como vegetación andina, espacios abiertos con escasa a nula vegetación y matorrales de espinos, mostraron baja capacidad de proveer las distintas funciones y servicios destacando su aporte principalmente a un número reducido de Funciones Ecológicas como: heterogeneidad abiótica y biodiversidad de hábitat. El aporte de estas categorías se asocia más a sus características estructurales que funcionales como tal. Se debe considerar que dichas coberturas de igual forma ocupan una amplia superficie dentro del territorio por lo que gran parte de él se verá carente en el aporte de Funciones y Servicios Ecosistémicos.

Figura 16: Gráfico de Funciones y Servicios Ecosistémicos totales proporcionados por los Usos y Coberturas del suelo.



En la Tabla 9 se muestra el número tanto de funciones como de servicios que presentaron los valores más alto de cambio entre periodos, además de la superficie

y el porcentaje que representa este cambio dentro del total de la variación de la categoría.

En las Funciones Ecológicas las pérdidas más importantes se muestran en la disminución entre 1 y 2 funciones tanto para 1985-1992 (21,06% y 9,77%) como para 1992-2001 (43,84% y 27,66%), en tanto que para el periodo desde 2001 a 2012, las pérdidas corresponden a 1 (35,26%) y 5 (23,11%) funciones. Las ganancias que presentaron las Funciones Ecológicas fueron de 1 y 3 funciones para todos los periodos, sin embargo estas se acentuaron entre 1985 y 1992 con un 51,89% y un 3,05% respectivamente. Además, este periodo fue el único en que las ganancias fueron mayor que las pérdidas que se presentaron.

En los Servicios de Provisión las pérdidas en los tres periodos fue de 3 y 1 servicio acentuándose entre 1992 y 2001 con un 61,71% y un 7,72% respectivamente, en tanto que las ganancias obtenidas fueron de 3 (54,21%) y 2 (3,27%) servicios desde 1985 a 1992 y de 3 y 4 servicios para los otros dos periodos.

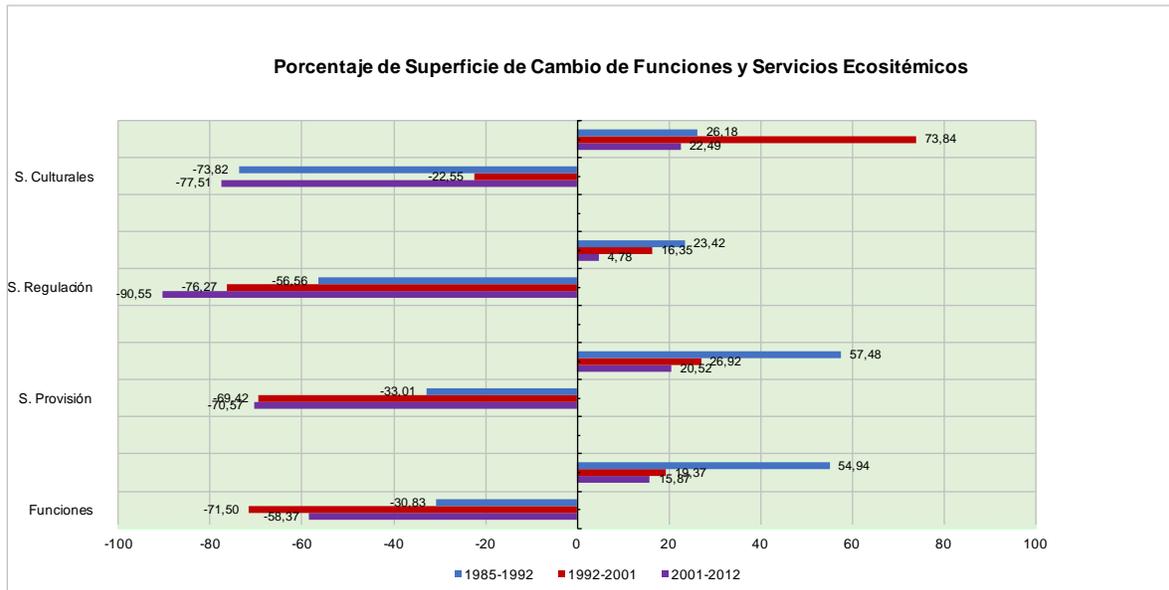
Los Servicios de Regulación mostraron que las pérdidas en cuanto número de servicios fue mayor en el periodo de 1985-1992 con la disminución de 3 (35,17%) y 5 (21,40%) servicios, mientras tanto que para los dos periodos restantes la pérdida fue de 3 y 2 servicios con valores de un 60,25% y 16,02% para 1992-2001 y 85,32% y 5,24% en 2001-2012. Las ganancias de los Servicios de Regulación mostraron corresponder a un aumento en 2 y 3 servicios en todos los periodos presentando valores más altos entre 1985-1992 con un 13,28% y un 10,14%. La categoría de los Servicios Culturales muestra los valores más altos de

pérdida con una disminución de 5 y 4 servicios con un 39,13% y un 34,70% para 1985-1992 y un 7,11% y un 15,44% para 1992-2001, mientras que para 2001-2012 las pérdidas de mayor importancia son de 1(51,08%) y 4 (16,61%) servicios. En cuanto a ganancias, entre 1985-1992 se observan los mayores valores con 4 (24,27%) y 5 (1,90%) servicios, en tanto que para para los otros dos periodos fue de 1 y 4 servicios con valores de un 68,44% y un 5,40% para 1992-2001; 19,55% y un 2,95% en 2001-2012.

Tabla 9: Principales pérdidas y ganancias de Funciones y Servicios Ecosistémicos.

	1985-1992			1992-2001			2001-2012		
	Nº	HAS	%	Nº	HAS	%	Nº	HAS	%
Funciones	-1	1853,42	21,06	-1	5998,31	43,84	-1	4003,06	35,26
	-2	859,93	9,77	-2	3784,42	27,66	-5	2623,67	23,11
	1	4566,79	51,89	1	1616,31	11,81	1	1612,55	14,21
	3	268,62	3,05	3	1034,28	7,56	3	188,31	1,66
S. Provisiónamiento	-3	1723,45	25,54	-3	5927,08	61,71	-3	3483,97	39,72
	-1	503,96	7,47	-1	741,20	7,72	-1	2706,77	30,86
	3	3657,22	54,21	3	1621,35	16,88	3	1630,25	18,58
	2	220,73	3,27	4	964,09	10,04	4	170,14	1,94
S. Regulación	-3	709,15	35,17	-3	850,19	60,25	-3	2707,15	85,32
	-5	431,54	21,40	-2	226,09	16,02	-2	166,15	5,24
	2	267,73	13,28	2	132,00	9,35	3	122,07	3,85
	3	204,51	10,14	3	98,69	6,99	2	29,46	0,93
S. Culturales	-5	431,54	39,13	-4	226,09	15,44	-1	510,87	51,08
	-4	382,68	34,70	-5	104,14	7,11	-4	166,15	16,61
	4	267,73	24,27	1	1002,25	68,44	1	195,50	19,55
	5	21,01	1,90	4	79,04	5,40	4	29,46	2,95

Figura 17: Porcentaje de superficie de cambio de Funciones y Servicios Ecosistémicos más importantes.



En la Figura 17 se resumen los cambios más importantes tanto de pérdida como de ganancia que experimentaron las funciones y servicios evaluados por cada periodo de estudio en cuanto a superficie.

En primer lugar se aprecia que en el periodo de 1985-1992 las ganancias obtenidas son mayores que las pérdidas apreciadas tanto en porcentajes de funciones como en Servicios de Provisión, mientras que los valores negativos se acentuaron en los Servicios de Regulación y Culturales. En 1992-2001, los las pérdidas se dan en cuatro categorías siendo estas funciones, Servicios de Provisión y Servicios de Regulación mientras que la única categoría en que las ganancias obtenidas fueron mayores que las pérdidas corresponde a los Servicios Culturales. Por último, el periodo correspondiente a 2001-2012, si se comparan los valores

obtenidos tanto para las funciones como los servicios, se observa que en todas las categorías las pérdidas fueron mayores que las ganancias obtenidas.

Si bien se observa para el periodo de 1985-1992 un aumento tanto de las funciones como de los Servicios de Regulación, la tendencia de los demás periodos en estudio es a la disminución superficie que aporta tanto Funciones como Servicios Ecosistémicos con una conversión a coberturas o usos carentes de capacidad de suministrar alguno de ellos.

Otro producto asociado al análisis de los cambios o variaciones de las Funciones y servicios Ecosistémicos, además de ayudar a determinar la cantidad de pérdida tanto de número funciones y servicios como de superficie, la superposición de las distintas capas geoespaciales, permite generar un mapa con donde se presentan los mayores aportes y pérdidas de Funciones y Servicios Ecosistémicos totales. De esta manera es posible establecer áreas o sectores relevantes por su aporte y que sean de importancia para su conservación, así como también, permite identificar sectores donde la capacidad es prácticamente nula o deficiente, pudiendo tal vez, mediante una posterior evaluación, recuperar estos lugares en su importancia ecológica y el aporte tanto de funciones como de servicios.

En este sentido, en el Anexo E, Figura 33 y Figura 34 se aprecian las cartografías finales de cambio tanto de funciones como de servicios presentes en el área de estudio. Se desprende de las cartografías que desde 1985-1992, se destaca la pérdida en la zona este del área correspondiente a la cobertura de bosques

donde se obtiene el valor de -15, siendo este el máximo valor de pérdida. Para los cambios desde 1991-2001 y 2001-2012 los más notorios se han desarrollado en la parte del valle de la provincia acentuándose en la zona sur y que se atribuye principalmente al desarrollo de los usos tanto urbanos como industriales. Sin embargo también se aprecian las pérdidas producidas por la aparición de las actividades mineras, pero que no representan gran impacto ya que sólo se ve afectada la cobertura de matorrales de espinos, que como se analizó anteriormente, poseí bajo potencial de provisión tanto de funciones como de servicios. Por este motivo es que las pérdidas asociadas con las actividades mineras aparecen con valores bajos cambio (-1). También se observan pérdidas importantes, pero de menor superficie, en la parte norte de la provincia atribuidas a la pérdida de bosques y la conversión a matorrales de espinos (-5). Las ganancias se asocian principalmente a la conversión de suelo de matorrales de espinos a cultivos, a infraestructura urbana y las plantaciones forestales.

## 5. SÍNTESIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Luego de los análisis realizados en el desarrollo de esta memoria es posible destacar que menos del 90% del área de estudio ha sufrido cambios de coberturas de suelo, existiendo un dominio de coberturas naturales en el paisaje. Si bien los cambios que se presentaron son bajos en términos relativos, en términos absolutos comprometen a miles de hectáreas y han significado la aparición de nuevas coberturas que han aportado cierto grado de heterogeneidad al paisaje.

Como menciona Walker (2003) los cambios de cobertura de suelo son el resultado de un proceso dinámico y que refleja las decisiones tomadas por los habitantes. En ese sentido, las nuevas coberturas que han aparecido en el paisaje en la Provincia de Chacabuco, responden principalmente a la expansión urbana vivida en los últimos años y corresponden principalmente a desarrollo residencial e industrial. Si bien en un comienzo estas coberturas tenían un desarrollo insipiente y se observaban bastantes fragmentadas, con el paso de los años se ha identificado un menor grado de aislamiento y la tendencia a cierto grado de consolidación y homogenización de estos nuevos usos.

Para estas coberturas de tipo antrópicas se presentan dos tendencias, la primera de ellas es al aumento constante de superficie que experimentan principalmente la urbanización de baja densidad y las zonas industriales, y la segunda, es que el crecimiento espacial de estas coberturas se ha desarrollado principalmente en la parte sur de la provincia.

Anteriormente se mencionó que el polo de desarrollo urbano en la zona sur respondería al creciente desarrollo inmobiliario y crecimiento demográfico discontinuo que ha experimentado Santiago en los últimos años, donde además operan importantes factores tales como una localización alejada de la ciudad y en mayor contacto con áreas verdes y la naturaleza (GORE 2012). También contribuye a esto la conectividad vial que se ha desarrollado desde Santiago hacia los sectores periurbanos, con la construcción de carreteras concesionadas que disminuyen el tiempo de viaje hacia y desde el centro de la ciudad (MOP, 2003), lo que se suma el acceso relativamente fácil a algún tipo de vehículo motorizado que permite recorrer mayores distancias en menor tiempo (Martínez, 2002; SOCHITRAN, 2013).

El aumento de una urbanización de baja densidad en parcelas de agrados se desarrolla principalmente en Colina en torno a los caminos principales que conectan con la autopista panamericana norte, mientras que la urbanización de media y alta densidad toman forma en los centros poblados ya consolidados como Lampa y Til Til. Los valores de crecimiento obtenidos para estos tipos de urbanización desde el año 1985 a 2012 fueron de: urbanización de baja densidad (234,91%), urbanización de alta densidad (221,77%) y urbanización de media densidad (88,58%).

La actividad industrial que también presenta un aumento continuo en superficie se debe a la expansión del sector industrial de la comuna de Quilicura en las afuera de Santiago en torno a la autopista panamericana norte con un crecimiento de un 1865,64% desde 1985 al 2012 gracias a las zonas industriales exclusivas fijadas con el PRSM de 1997.

Otra de las coberturas que también llama la atención por su desarrollo en los últimos años de estudio es la de actividades de extracción asociada a la minería mostrando un incremento tanto en el número de polígonos asociados como en el aumento del tamaño promedio de los mismos, teniendo un crecimiento de un 249,13% entre 1985 y 2012. Se observó principalmente que el aumento de superficie tenía relación con la aparición e incremento de tamaño de los cuerpos de agua asociados a la actividad minera, y que en este caso corresponden a embalses de relaves. Hasta el momento el desarrollo de esta actividad se ha concentrado en la zona media de la provincia donde no ha tenido una mayor repercusión dentro del paisaje, porque la conversión de suelo que ha generado ha afectado sólo la cobertura de matorrales de espinos y no a otra que presente una mayor importancia ecológica.

Las coberturas más importantemente afectadas entre 1985 y 2012 por una pérdida de superficie resultaron ser: humedales (-49,12), cultivos (-12,39) y bosques (-4,55%). Estas coberturas son importantes tanto en el soporte de Funciones como de provisión de Servicios Ecosistémicos ya que los humedales y bosques son unas de las coberturas que presentan mayor potencial de provisión. En el caso del área de estudio, el humedal de Batuco mostro un retroceso en superficie a partir desde el año 1992.

En cuanto a las Funciones y Servicios Ecosistémicos, solo 11 coberturas mostraron algún nivel de participación en la capacidad potencial de sostener o proveer alguno de ellos, y de las cuales 10 eran coberturas naturales y 1 correspondía a uso urbano asociado a infraestructura verde. Estas coberturas

corresponden a: vegas, humedales, bosques, pastoreo (praderas), plantaciones forestales, matorrales esclerófilos, matorral de espinos, vegetación andina, espacios abiertos con poca a nula vegetación y equipamiento urbano. Por categoría de funciones y servicios de las 11 coberturas mencionadas, sólo 6 mostraron participación en la provisión de Servicios de Provisión, 6 en los Servicios de Regulación y 4 en los Servicios Culturales. Si bien la urbanización de baja densidad obtuvo algún tipo de valoración en cuanto a la provisión de funciones y servicios, esta fue baja y no relevante a nivel de la investigación, pero sin embargo, en comparación con los otros tipos de urbanización fue la mejor evaluada.

A nivel total de cambio de funciones y servicios las coberturas que presentaron mayor aptitud en provisión fueron: bosques (26), equipamiento urbano (13), matorral esclerófilo (11), humedal (11), vega (9) y plantaciones forestales (10).

Por otra parte la expansión urbana que se lleva a cabo hoy en día y que aboga principalmente por la densificación del territorio no parece ser la más adecuada en cuanto a la capacidad de beneficios que se pueden obtener (tanto Funciones como Servicios Ecosistémicos). Como menciona Romero y Vásquez (2009), es por esta razón la importancia de los estudios tanto de la Ecología Urbana como de la Ecología del Paisaje y disciplinas afines en la investigación de temas relacionados a la ciudad tales como de infraestructura verde, islas de calor, Funciones y Servicios Ecosistémicos entre otros, que permitan un desarrollo armonioso de la ciudad con la naturaleza.

En este caso el equipamiento urbano, es decir, infraestructura verde urbana como plazas, parques, canchas de golf, canchas deportivas entre otros, son lo que mostraron la mayor capacidad relevante de proveer funciones y servicios, por lo cual son elementos que se deben contemplar al momento de organizar el territorio, y planificar intervenciones y alteraciones como ocurre con la expansión urbana en los sectores periurbanos o periféricos a la ciudad. Por ejemplo, el caso de la provincia de Chacabuco donde aún es posible encontrar ecosistemas naturales y tradiciones culturales locales. En ese sentido Romero y Vásquez (2009) también señalan que por medio de la Ecología del Paisaje se puede contribuir a la evaluación ambiental y ecológica de los programas, proyectos y planes de desarrollo por medio de la Planificación Ecológica (Romero y Vásquez, 2005a), disciplina que puede ayudar a contribuir a la regularización de procesos de urbanización en áreas sensibles.

Dentro del total de Funciones Ecológicas evaluadas, las más importantes fueron: fotosíntesis y producción de oxígeno, biodiversidad abiótica y el ciclo de nutrientes. Para los Servicios de Provisión destaca la provisión del servicio de ganadería, forraje y cultivo, así también la producción de leña y madera. Los Servicios de Regulación más importantes fueron, el control de inundaciones, regulación del clima local, el control de la erosión y la purificación del agua. Por último, los servicios culturales destacados resultaron ser los de recreación y ecoturismo, valoración estética, valor cultural heredado y valor educacional.

La mayor variación de superficie afectó a las Funciones Ecológicas desde 1985-2012 con un porcentaje de cambio de un 4,25% hasta un 5,48%, y dentro de

los servicios evaluados a los Servicios de Provisión con valores de cambio desde un 3,26% a un 4,23%. Si bien los Servicios de Regulación como Culturales, presentaron los menores cambios totales con aproximadamente un 1%, en términos absolutos de superficie se está refiriendo a miles de hectáreas.

Entre 1985 y 1992 se observó un aumento tanto de las funciones como de los Servicios de Regulación, la tendencia de los demás periodos en estudio es a la disminución superficie que aporta tanto Funciones como Servicios Ecosistémicos con una conversión a coberturas o usos carentes de capacidad de suministrar alguno de ellos. La disminución en la provisión se puede explicar por la pérdida de las coberturas naturales con alta capacidad de proveer servicios y funciones que se transformaron a suelos urbano, matorrales de espinos o espacios abiertos con escasa a nula vegetación. Aunque la conversión a suelo urbano podría aportar en cierto grado a la provisión de servicios principalmente culturales, esto no ocurrió, porque dichas coberturas fueron evaluadas por los expertos con bajo potencial para proveer servicios. Al contrario, las coberturas naturales como bosques y matorrales esclerófilos entre otros, fueron los que presentaron una alta capacidad potencial de proveer Servicios Culturales.

Finalmente, se debe comentar que la capacidad de provisión calculada para cada una de coberturas, corresponde al potencial que poseen dichas unidades para sostener o proveer una determinada Función o Servicio Ecosistémicos según el juicio de los expertos consultados, por lo cual esta capacidad es constante en el tiempo y depende de la composición del panel de expertos. Ahora, es necesario considerar si realmente existen las condiciones y estado óptimo de la cobertura para

que entregue su capacidad máxima de beneficios, ya que como menciona Pauliet et al., (2005) y Pickett et al., (2001), mientras mayor sean los efectos adversos de la urbanización sobre los medio ambientes naturales, serán más y mayores las necesidades de materia y energía proveniente de los sistemas de soporte de vida que se requieren para sustentar las ciudades. En los casos donde esta presión persiste durante largo tiempo se termina provocando, primero, un deterioro en los sistemas de soporte y finalmente una sobre exigencia más allá de su capacidad de carga. En este contexto, la capacidad de una cobertura puede presentar variaciones espaciales que dependen de atributos específicos del sitio, tales como cobertura vegetal y tipo de suelo, entre otros.

## 6. CONCLUSIONES

Tras finalizar este trabajo se logró identificar el cambio paisajístico en la provincia de Chacabuco desde 1985 hasta el año 2012, gracias al análisis multitemporal de las coberturas de suelo en tres periodos de tiempo. Primero, una tendencia a disminución de la superficie de las coberturas naturales y, segundo, un aumento de las coberturas urbanas e industriales en términos de superficie, asociado con una tendencia a la consolidación y homogenización de estas últimas coberturas dentro del paisaje en los años más recientes. Lo anterior se fundamenta gracias al análisis de las métricas de paisaje calculadas, donde se pudo establecer un aumento tanto en cantidad y tamaño de parches de coberturas urbanas e industriales así como también en la conectividad presente entre ellos. Espacialmente el desarrollo de estas nuevas coberturas tomó lugar principalmente en la zona sur de la provincia.

Estas nuevas coberturas corresponden principalmente a urbanización de baja densidad, con una gran evolución temporal, urbanización de medida densidad y en menor grado de alta densidad. Estos dos últimos tipos de urbanización se encontraban principalmente en los centros poblados ya establecidos como Til Til y Lampa, mientras que la urbanización de baja densidad tuvo desarrollo principalmente en el sector de Colina. El uso industrial está ligado principalmente al desarrollo en torno a una red vial como extensión del entramado industrial de la comuna de Quilicura hacia el norte. Este uso presentó la misma tendencia descrita anteriormente que la urbanización de baja densidad.

Por otra parte, las coberturas que presentan mayor grado de dominancia dentro del paisaje corresponden a coberturas naturales de bosques, matorrales esclerófilos, vegetación andina y matorrales de espinos.

Las actividades mineras presentaron un desarrollo considerable con un incremento importante en la superficie asociado principalmente a los cuerpos de agua propios de la actividad. Este uso se desarrolló principalmente en la parte media la provincia e involucró la conversión de del tipo de matorrales de espino lo que no tuvo un impacto relevante dentro del paisaje, pero si potencialmente podrían darse en otros sectores más sensibles que involucre la pérdida de cobertura vegetal con mayor importancia ecológica.

Es necesario además establecer una tipología de usos y coberturas del suelo estandarizada y detallada que permita ser aplicada a los distintos estudios que se realizan, no solo en temáticas de la Ecología del Paisaje sino en todas las que requieran la utilización de alguna capa de este tipo de información geoespacial. El uso amplio de esta clasificación permitiría realizar comparaciones entre trabajos, y la aplicación de estudios y metodologías internacionales que puedan generar un enriquecimiento en términos científicos.

Por su parte, los métricas del paisaje aportan interesantes datos cuantitativos sobre configuración del paisaje, la proporción de cada cubierta del suelo o la superficie y la forma de los elementos del paisaje y que permiten realizar procesos comparativos de en el tiempo. Sin embargo, al momento de su interpretación se debe tener en cuenta que para dar una lectura correcta de los resultados es

necesario relacionar distintos tipos de métricas. Existen también diversos *softwares* que permiten y facilitan los cálculos de dichas métricas, entre ellos Fragstats, considerado uno de los más completos al momento de realizar las mediciones además de ser un *software* libre.

Se puede afirmar en esta investigación que la alta capacidad de proveer tanto de Funciones como Servicios Ecosistémicos, está asociada a coberturas naturales y es muy baja o nula en los casos de coberturas urbanas.

Si bien en la investigación se realizó una aproximación a la aplicación de una metodología para determinar la cantidad de Funciones y Servicios Ecosistémicos que proporcionaban las coberturas de suelo, esta se calculó en términos del potencial para proveer dichos elementos, por lo cual esta aptitud es transversal en el tiempo, pero cambiará también según los cambios que experimenten las coberturas. Se debe considerar además que la capacidad óptima de provisión dependerá del estado (salud) que se encuentre la cobertura y la cantidad de superficie que ocupe en el territorio. Además, se debería tener en consideración en estudios futuros la cantidad demandada de beneficios, ya que si ocurre un aumento considerable en el requerimiento de una determinada función o servicio, se generará la sobre explotación de este, teniendo consecuentemente la degradación o la desaparición de los beneficios requeridos.

Determinar la capacidad de proveer tanto Funciones y Servicios Ecosistémicos potenciales de las coberturas de suelo, ayudará en la toma de decisiones dentro de la planificación territorial al momento de considerar que usos

y coberturas priorizar para su protección y posterior preservación. Además, permitirá tener espacialmente (mediante cartografías) porciones del territorio donde poder desarrollar actividades que impacten de la menor forma posible los ecosistemas naturales y los beneficios que estos puedan entregar, tanto al medioambiente como a los seres humanos.

Finalmente, se puede señalar que las alteraciones experimentadas son principalmente antrópicas, donde no se descartan de igual manera los cambios sufridos de forma natural por el paisaje, por ejemplo, debido a efectos del cambio climático, incendios y que también involucren una conversión de suelo de una determinada cobertura. La alteración en el paisaje está sujeta principalmente a la conversión de las coberturas del suelo, lo que afecta la cantidad y calidad de Funciones y Servicios Ecosistémicos que se brindan en el territorio. Primero se verán afectados en cantidad, puesto que los usos urbanos arrojaron nula capacidad de provisión en cuanto al número total de funciones y servicios. Segundo, una disminución en la calidad, debido a que los nuevos usos de suelo urbanos, industriales y mineros, afectarán la demanda de las funciones y servicios presentes, así como en la calidad que puedan presentar las unidades proveedoras de entregar los beneficios requeridos.

Este trabajo contribuye con la adaptación y aplicación de metodologías para cuantificar la capacidad de proveer Funciones y Servicios Ecosistémicos que ofrece el paisaje asociadas a las coberturas de suelo presentes, como estas cambian en el tiempo e identificar los patrones espaciales que se desarrollan. Esta aproximación y representación espacial de las Funciones y Servicios Ecosistémicos a través del

paisaje, desde un punto de vista de los beneficios que se pueden obtener de la naturaleza ya sean tangibles o intangibles, puede ser considerada en la planificación integrada del territorio que contribuya a equilibrar desarrollo urbano y protección de la naturaleza.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**ARMENTEREAS, D. y VARGAS, O. (2016).** Armenteras D, Vargas O. Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. Acta biol. Colomb. 2016;21(1) Supl:S229-239. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v21n1sup.50848>

**ARAYA-VERGARA, J.F. (1985).** Análisis de la carta geomorfológica de la cuenca del Mapocho. Inform. Geog. Chile, nº 32: 31-44.

**ALTAMIRANO, A. y LARA, A. (2010).** Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura, Valdivia, Chile.

**BÄHR, J. y MERTINS, G. (1995).** Die lateinamerikanische Großstadt. Verstädterungsprozesse und Stadtstrukturen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. En: **DIRK HEINRICHS, HENNING NUISSL y CLAUDIA RODRÍGUEZ SEEGER. (2009).** Dispersión urbana y nuevos desafíos para la gobernanza (metropolitana) en América Latina: el caso de Santiago de Chile.

**BAZANT, J. (2001).** Periferias Urbanas. Expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente. Editorial Trillas. Distrito Federal. México.

**BETTINI, V. (1998).** Elementos de ecología Urbana. Editorial Trotta. Valladolid.

**BOYD, J. y BANZHAF, J. (2007).** What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics, nº 63: 616–626. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32

**BOYD, J. (2007).** Nonmarket benefits of nature: what should be counted in green GDP. Ecological Economics, nº 61: 716-723.

**BORSODORF, A. (2003).** Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana Revista Eure, Santiago, vol 29, nº 86.

**BORSODORF, A. e HIDALGO, R. (2005A).** Los Mega-Diseños residenciales valladores en las periferias de las Metrópolis Latinoamericanas y el advenimiento de un nuevo concepto de ciudad. Alcances en base al caso de Santiago de Chile. Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales 9, 194, 3.

**BOSQUE, J. y GARCÍA, R.C. (2000).** El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial". Anales de Geografía de la Universidad Complutense, nº 20. pp. 49-67.

**BOTEQUILHA, A y AHERN, J. (2002).** Applying landscape concepts and metrics in sustainable landscape planning. Landscape and Urban Planning, nº 59. pp 65-93. En: **AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**BRITOS, A.H. y BARCHUK, A.H. (2008).** Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Árido del noroeste de Córdoba, Argentina. Agriscientia VOL. XXV (2). Argentina. pp. 97-110.

**BUDDS, J. (2012).** La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del Rio la Ligua, Chile, Revista de Geografía Norte Grande, vol 52. pp. 167-184.

**BUCKHARD, B., KROLL, F., MULLER, F. y WINDHORST, W. (2009).** Landscapes Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land –Cover based Assessments. Landscape Online, vol 15. pp. 1-22.

**BURKHARD, B., KANDZIORA, M., HOU, Y. y MÜLLERA, F. (2014).** Ecosystem Service Potentials, Flows and Demand – Concepts for Spatial Localization, Indication and Quantification. Landscape Online, vol 34. pp. 1-32.

**BUREL, F. y BAUDRY, J. (2002).** Ecología del Paisaje, Concepto, Métodos y Aplicaciones. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 353.

**CÁCERES SEGUEL, C. (2015).** Ciudades satélites periurbanas en Santiago de Chile: paradojas entre la satisfacción residencial y precariedad económica del periurbanita de clase media. Revista INVI, 30(85). pp. 83-108.

**CARPENTER S.R., DEFRIES, R., DIETZ, T., MOONEY, H.A., POLASKY, S., REID, W.V., SCHOLES R.J. (2006).** Millennium ecosystem assessment: Research needs. Science, nº 314: 257-258. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32.

**COMISIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. (2014).** Construir una Infraestructura Verde para Europa Boletín de Naturaleza y medioambiente 2014. pp 24.

**CONAF – CONAMA (2003).** Catastro y Usos de Suelo y Vegetación, Región Metropolitana.

**COSTANZA, R. et al. (1997).** The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, nº 387: 253-260

**COSTANZA, R. (2008).** Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 141: 350-352.

**CHAVES, L. (1973).** Estructura funcional de las ciudades venezolanas. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela.

**DAILY G.C. (1997).** Nature's services: Societal dependence on ecosystem services. Island Press, Washington, DC. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32

**DE GROOT, R. (2006).** Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 75:175–186.

**DE GROOT, R.S., WILSON, M.A. y BOUMANS, R.M.J. (2002).** A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393–408.

**DE GROOT, R., STUIP, M., FINLAYSON, M. y DAVIDSON, N. (2006).** Valuing wetlands: Guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services. Ramsar Technical Report/CBD Technical Series 3/27. Gland, Secretariat of the Convention on Wetlands.

**DE MATTOS, C. (1999).** Santiago de Chile, globalización y expansión metropolitana: lo que existía sigue existiendo. *Revista Eure*, V. XXV, nº 76. pp. 29-56.

**DE MATTOS, C. y FUENTES, L. (2012).** Crecimiento de la ciudad la población de Santiago entre 2002 y 2012: ¿Compactación o expansión? Una falsa disyuntiva. *Revista Planeo N°8*, Crecimiento Urbano, Noviembre 2012.

**DONOSO Y LARA. (1995), ECHEVERRÍA, C. et al. (2007A) y ECHEVERRÍA, C. et al. (2011).** En: **AGUAYO, M., PAUCHARD, A., AZÓCAR, G. y PARRA, O. (2009).** Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82, nº 3. pp. 361-374.

**DRAMSTAD, E., OLSON, D., y FORMAN, R. T.T. (1996).** Landscape ecology principles in landscape architecture and land use planning .[Cambridge, Mass.]: Harvard University Graduate School of Design ; Washington : Island Press ; Washington : American Society of Landscape Architects

**ECHVERRÍA, C., COOMES, D., SALAS, J., REY-BENAYAS, JM. y LARA, A. et al. (2006).** Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological Conservation* 130: 481-494.

**EZQUERRA, C., MORENO, A., CUESTA, E. y URBANO LÓPEZ DE MENESES, J. (1998).** Proyecto Lacoast Cambios en la cobertura del suelo en las costas europeas. Universidad Complutense de Madrid, España.

**FARIÑA, J. (2000).** Naturaleza Urbana. Madrid, España.

**FAO. (1996).** Survey of tropical forest cover and study change process. Forest resources assessment 1990. Rome, nº 26. 152p.

**FERNÁNDEZ-COPPEL, I. y HERRERO, E. (2001).** El satélite LANDSAT. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Palencia. Universidad de Valladolid.

**FISHER, B. y TURNER, R.K. (2008).** Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 141: 1167-1169. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32

**FISHER, B., TURNER R.K. y MORLING, P. (2009).** Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68: 643-653. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32

**FORMAN, R. T.T. (1983).** An Ecology of the Landscape, highlights the field for ecologist and biologists. Editorial BioScience.

**FORMAN, R. T.T. (1995).** Land Mosaics: The Ecology Of Landscapes And Regions. Cambridge University Press, Cambridge, 632p.

**FORMAN, R.T.T. y GODRON, M. (1986).** Landscape Ecology. John Wiley and Sons, Nueva York, 619p.

**FRAGKOU, M. C. y LUKAS, M. (2014).** Conflictividad en construcción: desarrollo urbano especulativo y gestión del agua en Santiago de Chile, Ecología política.

**GOBIERNO REGIONAL DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO. (2012).** Etapa III, informe final, Actualización carta de uso de suelo en la Región Metropolitana de Santiago.

**GUSTAFSON, E.J. (1998).** Quantifying Landscape Spatial Pattern: What is the State of the Art. *Ecosystems*, n° 1. pp. 143-156. En: **AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**GUSTAFSON, E.J., y PARKER, G.R. (1994).** Using an index of habitat patch proximity for landscape design. *Landscape and Urban Planning*, n° 29. pp. 30-117. En: **AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**GROSS, P. (2006).** Capítulo IV: El hombre y la Biodiversidad. *Diversidad Natural y Cultural en la Ciudad*. Extracto del libro *Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos*; Capítulo N° 4. CONAMA, primera edición.

**HAINES-YOUNG, R. y POTSCHIN, M. (2012).** Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4. En: **MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2014).** Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos, versión 1.0.

**HENRIQUEZ, C., AZÓCAR G. y ROMERO, H. (2006a).** Monitoring and modelling the urban growth of two mid-sized Chilean cities. *Habitat International*, n° 30. pp. 945–964.

**HEINRICHS, D., NUISSL, H. y RODRÍGUEZ SEEGER, C. (2009).** Dispersión urbana y nuevos desafíos para la gobernanza (metropolitana) en América Latina: el caso de Santiago de Chile. *Revista EURE*, n° 35. pp. 29-46.

**HEROLD, M., GOLDSTEIN, N. y CLARKE, K. (2003).** The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, n° 86, pp. 286–302. En: **AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**HERZOG, F. y LAUSCH, A. (2001).** Supplementing land use statistics with landscape metrics: some methodological considerations. *Environmental Monitoring and Assessment*, n° 72. pp. 37–50. En: **AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**HIDALGO, R., BORSDORF, A. y SÁNCHEZ, R. (2007).** La expansión residencial amurallada en la reconfiguración metropolitana de Santiago de Chile. En C. De Mattos & R. Hidalgo (Eds.), *Santiago de Chile: movilidad espacial y reconfiguración metropolitana* (pp. 117-136). Santiago: Serie GEOlibros 8, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**HILTY, J. A.; LIDICKER, W. Z.; MERENLENDER, A. M. (2006).** Corridor ecology: The Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation. Washington: Island Press.

**INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS). (2002).** Resultados Generales. Censo de Población y Vivienda, 2002. Santiago, Chile.

**IRARRÁZABAL, F. (2012).** El Imaginario “Verde” y el Verde urbano como Instrumento de Consumo Inmobiliario: Configurando las Condiciones Ambientales del Área Metropolitana de Santiago.

**JACOBS, S. et al. (2014).** The Matrix Reloaded: A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. Ecological Modelling.

**KREMEN, C. (2005).** Managing Ecosystem services: what do we need to know about their ecology? Ecology Letters 8: 468-479. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32.

**LATERRA, P., JOBBAGY, G., y PARUELO J.M. (2010).** Valoración de servicios ecosistémicos. Argentina: Instituto Nacional de Agropecuaria.

**LAMBIN, E., GEIST, H. y LEPERS, E. (2003):** Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions, Annu. Rev. Environ. Resour., nº 28, pp. 205-241. En: **ALDANA, A. y BOSQUE, J. (2008):** Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003, GEOFOCUS, nº 8. pp. 139-168.

**LÓPEZ, E. y BOCCO, G. (2001).** Cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo. En Regionalización Ecológica, Conservación de Recursos Naturales y Ordenamiento Territorial en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Universidad autónoma de México, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales. Morelia, México. pp. 53 – 87.

**LUCK, M., JENERETTE, G., JIANGUO, W., y GRIMM, N. (2001).** The Urban Funnel Model and the Spatially Heterogeneous Ecological Footprint. Ecosystems, nº 4, vol. 8. pp. 782-796.

**MARTÍN-LÓPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32.

**MARTINEZ, F.J. (2002).** Autos versus Transporte público (III). Evitar un Santiago automovilizado. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Revista Universitaria nº78. pp. 70-72.

**MAHESH KUMAR, J., GARG, P.K. y DEEPAK, K. (2008).** Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, nº 10. pp. 26–43. En: **SANDOVAL, G. (2009).** Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 79p.

**MAYNARD, S., JAMES, D. y DAVIDSON, A. (2010).** The development of an ecosystem services framework for South East Queensland. *Environmental Management*, nº45: 881-895. En: **PETTER, M., MOONEY, S., MAYNARD, S. M., DAVIDSON, A., COX, M. y HOROSAK., I. (2012).** A methodology to map ecosystem functions to support ecosystem services assessments. *Ecology and Society* 18(1): 31. 2012.

**MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2003).** Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment. Washington, DC: Island Press. pp.49-70.

**MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2005).** Ecosystem and Human Well-being: Current State and Trends. Washington D.C.: Island Press.

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES. (2003).** Autopistas urbanas concesionadas. Coordinación general de concesiones.

**MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2014).** Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos, versión 1.0.

**MINVU. (2008).** Actualización del Plan Regulador Metropolitano de Santiago.

**MCGARIGAL K., CUSHMAN S.A., NEEL M.C. y ENE, E. (2002).** FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.

**MCGARIGAL, K., y MARKS, B.J. (1995).** FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for Quantifying Landscape Structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. 351p. En: **AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**MEA. (2005).** Ecosystems and human well-being. Millennium Ecosystem Assessment.

**MOLINA, M. (2007).** Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área metropolitana de Santiago sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile. 119p.

**MONCLÚS, J.F. (1998).** La ciudad dispersa. Monclús. Suburbanización y nuevas periferias. Perspectivas geográfico-urbanísticas. Barcelona: Centre de Cultura Contemporànea de Barcelona.

**ORTIZ, J., ESCOLANO, S. (2005).** Crecimiento periférico del Gran Santiago. ¿Hacia la desconcentración funcional de la ciudad? Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. IX, nº 194 (04).

**ODEPA. (2012).** Estudio: Impacto de la Expansión Urbana en el sector Agrícola en la Región Metropolitana.

**ODUM, E.P. (1974).** The pricing system. pp 30. En: The Value of the Tidal Marsh, Center for Wetland Research, Baton Rouge. EE.UU.

**PAULEIT, S., ENNOS, R., y GOLDING, Y. (2005).** Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK. Landscape and Urban Planning nº 71, Ed. Elsevier. En: **VÁSQUEZ, A. E., ROMERO, H., FUENTES, C., LÓPEZ, C. Y SANDOVAL, G. (2008).** Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile. Actas del Congreso Nacional de Desarrollo Rural. Santiago de Chile 2008.

**PNUD CHILE, (2012).** Diagnóstico de la Región Metropolitana de Santiago. Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 105p.

**PETTER, M., MOONEY, S., MAYNARD, S. M., DAVIDSON, A., COX, M. y HOROSAK., I. (2012).** A methodology to map ecosystem functions to support ecosystem services assessments. Ecology and Society 18(1): 31. 2012.

**PICKETT, S., CADENASSO, M. y GROVE, J. (2001).** Urban Ecological Systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of Metropolitan Areas. Annu. Rev. Ecol. Syst, nº 32. pp. 127–57. En: **VÁSQUEZ, A. E., ROMERO, H., FUENTES, C., LÓPEZ, C. Y SANDOVAL, G. (2008).** Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile. Actas del Congreso Nacional de Desarrollo Rural. Santiago de Chile 2008.

**PODUJE, I. y YÁÑEZ, G. (2000).** Las regiones metropolitanas del Mercosur y México: entre la competitiva y la complementariedad. Seminario internacional, Buenos Aires, Argentina.

**QUINTANILLA, V. (1983).** Biogeografía. En Geografía de Chile, Tomo 111, Instituto Geográfico Militar. Santiago.

**RICARDO, J. (1975).** Paysages, écosystèmes, environnement: une approche géographique. L' Espace géographique, (2): 81-92. En: Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. **GURRUTXA, M. y LOZANO, P.J. (2008).** Estudios geográficos 265. pp. 519-543.

**RIVAS, T., y TRAUB, A. (2013).** Expansión urbana, cambio de uso del suelo, pérdida patrimonio agropecuario, recursos públicos. Oficina de estudios y políticas agrarias. Ministerio de agricultura. Gobierno de Chile.

**RODRÍGUEZ, H. (2016).** La importancia de las áreas verdes en la ciudad. CIESAS, Centro de Investigaciones y estudios superiores en antropología social.

**RODRÍGUEZ, A. y SÁNCHEZ R. (2007).** Formas de ocupación del espacio en el área urbana de la parroquia jacinto plaza de la ciudad de Mérida, propuestas para la elaboración de un plan especial de desarrollo urbano. Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Mérida- Venezuela.

**RODRÍGUEZ, L. y ALARCÓN, M. (2003).** Para llamarse ciudad. Áreas verdes y espacios de paz en la ciudad presente. Revista Austral de Ciencias Sociales, nº7. pp.129-138.

**ROMERO, H., TOLEDO, X., ÓRDENES, F. y VÁSQUEZ, A. (2001).** Ecología urbana y gestión sustentable de las ciudades intermedias chilena. Ambiente y Desarrollo, 17 (4): 45-51.

**ROMERO, H., VÁSQUEZ, A. y ÓRDENES, F. (2003).** Ordenamiento territorial y desarrollo sustentable a escala regional, ciudad de Santiago y ciudades intermedias en Chile

**ROMERO, H. y VÁSQUEZ, A. (2005a).** Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. Revista EURE, vol.31, nº 94. pp. 97-117.

**ROMERO, H. y VÁSQUEZ, A. (2005b).** La comodificación de los territorios urbanizables y la degradación ambiental en Santiago de Chile Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. IX, nº 194 (68).

**ROMERO, H., MOLINA, M., MOSCOSO, C., SARRICOLEA, P., SMITH, P. y VÁSQUEZ, A. (2007).** Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales.

**ROMERO, H. y VÁSQUEZ, A. (2009).** El crecimiento espacial de las ciudades intermedias chilenas de Chillán y Los Ángeles y sus impactos sobre la ecología de paisajes urbanos. En América Latina: sociedade e meio ambiente, **GERAIGES, A., SANCHES, J. y LUCHIARI, A.** (Editores). pp.109–136. CLACSO Livros, Departamento de Geografía, Universidade de São Paulo, Brasil, 284p.

**ROMERO, H., SALGADO, M. y SMITH, P. (2010).** Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. Revista INVI, vol. 25 (70).

**RUGIERO DE SOUZA, V. (2006).** Suelos potencialmente aptos para revegetación o uso agrícola a partir de la utilización de biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 217p.

**SANDOVAL, G. (2009).** Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 79p.

**SÁNCHEZ, E., GANADOS, A., CHAVEZ, J., VILLEGAS, M.I. y MENDOZA., C. (2001).** Crecimiento urbano y configuración del paisaje. Evaluación de los cambios en el uso y cobertura del suelo y su relación con la dinámica espacio-temporal del paisaje en la zona de expansión urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua.

**SACHS, J.D. y REID, W.V. (2006).** Environment – investments toward sustainable development. Science, 312: 1002. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32.

**SCHÜTZ, E. (1996).** Ciudades en América Latina, Desarrollo barrial y vivienda. SUR, Santiago.

**SECPLA. (2013).** Plan de Desarrollo Comuna Lampa 2013 - 2017. Municipalidad de Lampa. pp127

**SIMÓN, M., ZAZO, A. y MORÁN, N. (2012).** Nuevos enfoques en la Planificación Urbanística para Proteger los Espacios Agrarios Periurbanos. Ciudades 15. pp: 151-166.

**SMITH, P. (2007).** Evolución Espacial y Temporal de la Calidad Ambiental del Paisaje de los Humedales de Concepción entre 1975 y 2004: Efectos Ambientales provocados por la Urbanización. Memoria para optar al título de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

**SMITH, P. y ROMERO, H. (2009).** Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. Revista de Geografía Norte Grande. Tema central: medio ambiente urbano.

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE. (2013).** Políticas de Transporte Urbano para Nuestras Ciudades. Un aporte de la sociedad chilena de ingeniería de transporte a la nueva política de desarrollo urbano.

**SUDHIRA, H.S., RAMACHADRA, T.V. y JAGADISH, K.S. (2004).** Urban sprawl: metrics, dynamycs and modelling using GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 5. pp 29-39.

**TEEB. (2014).** Glossary of terms. The Economics of Ecosystems and Biodiversity.

**TURNER, M.G. (2005).** Landscape Ecology: What is the state of the science? *Annu.Rev Evol. Syst*, nº 36. pp. 319-344. En: **AGUILERA, F. (2001).** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Granada.

**TROLL, C. (1939).** Luftbildplan und ökologische Bondenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde* 41. Berlin: pp. 241-298. En: *Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre.* **GURRUTXA, M. y LOZANO, P.J. (2008).** Estudios geográficos 265. pp. 519-543.

**U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2004).** Ecological benefits assessment strategic plan. Washington. DC: SAB Review Draft.

**USGS (U.S GEOLOGICAL SURVEY). (2009).** Land Cover Trends Project.

**VILA, J., VARGA, D., LLAUSÀS, A., y RIBAS, A. (2006).** Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (Landscape Ecology). Una interpretación desde la Geografía. Universitat de Girona. Unitat de Geografia i Institut de Medi Ambient. *Anàl. Geogr.* 48, 151-166.

**VALDEZ. C. y LUNA, R., (2011).** Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), Unidad Mazatlán. Laboratorio de Manejo Ambiental.

**VANDEWALLE M. et al. (2008).** Concepts of dynamic ecosystems and their services. Deliverable D2.1 for the EC RUBICODE project. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Guía científica de Urdaibai. pp. 13–32

**VÁSQUEZ, A. E., ROMERO, H., FUENTES, C., LÓPEZ, C. y SANDOVAL, G. (2008).** Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile. *Actas del Congreso Nacional de Desarrollo Rural.* Santiago de Chile 2008.

**VINK, A. (1983).** Landscape ecology and land use. Longman, London, New York. En: *Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre.* **GURRUTXA, M. y LOZANO, P.J. (2008).** Estudios geográficos 265. pp. 519-543.

**VON HAAREN, C., ALBERT, C., BARKMANN, J., DE GROOT, R. S.J., SPANGENBERG, H., SCHRÖTER-SCHLAACK, C. y HANSJÜRGENS. B. (2014).** From explanation to application: introducing a practice-oriented ecosystem services evaluation (PRESET) model adapted to the context of landscape planning and management. *Landscape Ecology*:1-12. En: **MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2014).** Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos, versión 1.0.

**WALKER, R. (2003).** Mapping process to pattern in the landscape change of the Amazonian frontier, *Annals of the Association of American Geographers*, 93, 2, pp. 376-398. En: **ALDANA, A. y BOSQUE, J. (2008).** Cambios Ocurridos en la Cobertura/Uso de la Tierra Del Parque Nacional Sierra De La Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003. *GEOFOCUS*, nº8:139 – 168.

**WALLACE, K.J. (2007).** Classifications of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation*, 139: 235-246. En: **MARTIN-LOPEZ, B. y MONTES, C. (2010).** Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. Laboratorio de socio-ecosistemas, Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. *Guía científica de Urdaibai*. pp. 13–32

**WITHFORD, V., ENNOS, R. y HANDLEY, J. (2001).** City form and natural process – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 57. Ed Elsevier. pp. 91-103. En: **SANDOVAL, G. (2009).** Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 79p.

## 8. APÉNDICES

### 8.1 Apéndice A.

Tabla 10. Definiciones de usos y coberturas del suelo utilizados.

Usos y Coberturas (1:100000)	Definición
Urbanización Alta Densidad	La mayor parte de la tierra está cubierta presentando espacios casi nulos entre una edificación y otra. Edificios, carreteras y áreas artificiales cubren casi toda la superficie del suelo. Las zonas no lineales de vegetación y de suelo desnudo son excepcionales.
Urbanización Media Densidad	Tipo de urbanización donde la superficie construida posee espacios entre una y otra edificación. Se considera como urbanización de media densidad aquella en donde la superficie construida está entre el 20 y el 70% del predio.
Urbanización Baja Densidad	La mayor parte de la tierra no está cubierta por estructuras. Edificios, carreteras, suelo desnudo y áreas de superficie artificial y asociadas a las áreas con vegetación, ocupan superficies discontinuas, pero significativas. La superficie construida no supera el 20 % del predio.
Infraestructura Comercial	Áreas cubiertas artificialmente (con hormigón, asfalto o estabilizado) desprovistas de vegetación, ocupando la mayor parte de la zona en cuestión. También presenta edificios que en el caso comercial pueden estar levemente vegetados. Incluye zonas de negocios y/o institucionales centros comerciales o hipermercado.
Infra de Transporte Terrestre	Comprende autopistas, caminos pavimentados de dos o mas vías, caminos pavimentados de una vía, camino sin pavimentar, sendero o huella, puente, túnel, línea férrea (incluida sus instalaciones).
Infraestructura Aérea	Instalaciones aeroportuarias: Pistas, edificios y terrenos asociados. Incluye zonas de césped adyacentes, o árboles y arbustos dispersos dentro de la zona de amortiguamiento del aeropuerto.
Zona Industrial	Considera zonas industriales y parques industriales. Presenta una superficie artificial con estructuras destinadas a la producción de bienes manufacturados y que por su gran tamaño se diferencian del resto de las construcciones. Contiene grandes fábricas e instalaciones antrópicas. Se ubican por lo general fuera del la trama urbana.
Actividades Mineras	Contienen actividad minera en superficie, tranques de relaves, actividad minera subterránea y relaveductos.
Extracción de Áridos	Incluye extracción de áridos en cantera y en pozo. Son áreas con extracción a cielo abierto de materiales de construcción (cajones de arena, canteras) u otros minerales (minas a cielo abierto).
Depósitos de Residuos	Está incluido dentro de la categoría de infraestructura sanitaria de la ciudad. Depósitos de residuos contempla a los rellenos sanitarios, vertederos y plantas de transferencias.
Sitio Eríazo	Comprende tierras vacantes y espacios en fase de desarrollo de construcción, excavaciones en roca o suelo por movimientos de tierra.
Equipamiento urbano	Las áreas con vegetación dentro del tejido urbano. Incluye parques áreas deportivas, cementerios con vegetación, canchas de golf etc.
Espacios Abiertos con Nula o Poca Vegetación	Sectores con poca o sin vegetación permanente incluyendo áreas rocosas. Pueden encontrarse en las cumbres de cordones montañosos a casusa de las características climáticas dominantes, así como en otros lugares. Incluye zonas con escasa vegetación donde el 75% de la superficie terrestre está cubierta por rocas.
Vegetación Andina	Terrenos pedregosos, acantilados, y afloramientos de roca. Incluye estepa, tundra, tierras baldías y vegetación dispersa de gran altura. Corresponde a espacios con escasa vegetación en zonas inestables de piedras, rocas, escombros o en pendientes pronunciadas, donde la capa de vegetación cubre entre el 15% y el 50% de la superficie.
Matorral esclerófilo y con Suculentas	Corresponden a espacios compuestos por especies principalmente esclerófilas arbustivas, con cobertura vegetal de alrededor de un 50%. Incluye vegetación de tipo cactáceas y suculentas en menor medida.
Matorral de Espinos	Se trata morfológicamente de la categoría de matorrales y comprende solamente a matorrales de espinos.
Plantaciones Forestales	Corresponden a terrenos silvícolas, de plantaciones de eucaliptos y otras.
Cultivos	Pertenece a la categoría de terrenos agropecuarios. Incluye cultivos de carácter estacional (tierras de cultivo o pastos) y cultivo permanentes.
Pastoreos	Densa cubierta de hierba, de composición floral, dominada por gramíneas, que no están bajo un sistema de cultivo de rotación. Es principalmente para el pastoreo, pero se puede cosechar forraje de forma manual. Incluye áreas con coberturas silvestres.
Bosque	Formación vegetal compuesta principalmente de árboles, incluyendo arbustos y sotobosque de arbustos, donde las especies frondosas y coníferas son predominantes. Comprende además bosque removal y nativo (esclerófilo).
Humedal	Espacios vegetados y que contienen un cuerpo de agua formando un solo sistema, de tamaño pequeño y mediano. Considera humedales costeros e interiores.
Vega	Tierra baja de altitud generalmente inundada en invierno, y más o menos saturadas de agua durante todo el año.

Elaborado en base Gore, (2012) y Corine, (2006).

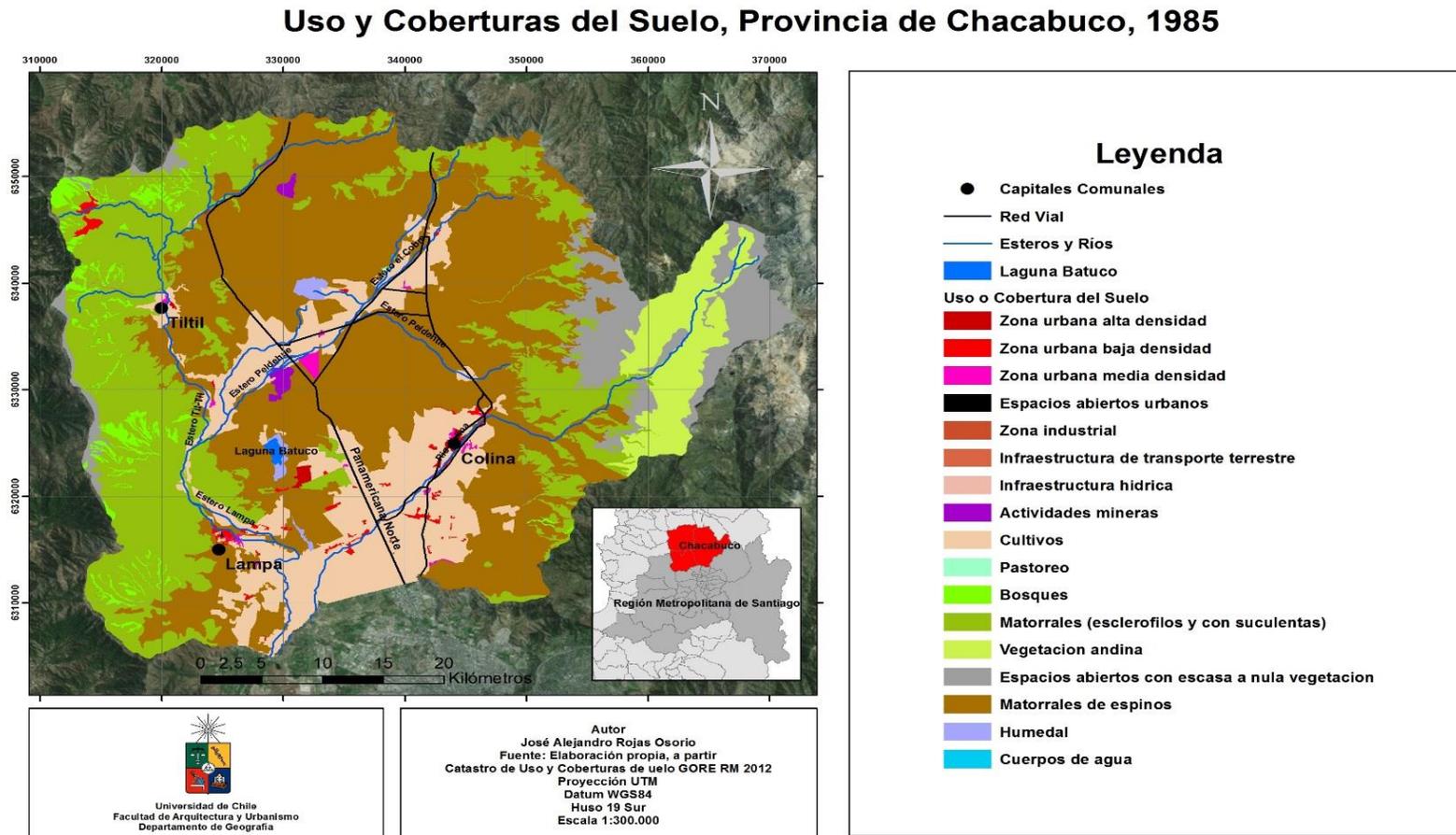
Tabla 11: Definiciones de Funciones y Servicios Ecosistémicos utilizadas

Funciones Ecológicas	Definiciones
Producción de Oxígeno	Está asociada a la fotosíntesis, produce el oxígeno necesario para la mayoría de los organismos vivos.
Heterogeneidad Abiótica	La disposición de los hábitats adecuados tanto para las diferentes especies y para los grupos funcionales.
Biodiversidad	La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros sistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.
Ciclo del Agua	Se menciona que los ciclos del agua a través de los ecosistemas son esenciales para los organismos vivos.
Formación de Suelo	Se relaciona con la capacidad de generar suelo
Ciclo de Nutrientes	Regula el ciclo de los nutrientes a través de los ecosistemas y se mantiene diferentes concentraciones en diferentes partes de los ecosistemas. Aproximadamente 20 nutrientes son esenciales para la vida, incluyendo el nitrógeno y el fósforo
Producción Primaria	La asimilación o la acumulación de energía y nutrientes por los organismos.
Polinización	Cambios en los ecosistemas afectan a la distribución, abundancia, y la eficacia de los polinizadores
<b>Servicios de Provisiónamiento</b>	
Cultivos	Cultivo de plantas y la cosecha de estas en campos agrícolas y jardines comestibles que se utilizan para la nutrición humana.
Ganado	Producción y utilización de animales domésticos para la nutrición y el uso de productos relacionados (lácteos, lana)
Forraje	El cultivo y la cosecha de forraje para los animales domésticos
Captura de Peces	Captura de peces y mariscos, algas para la alimentación, harina y aceite de pescado.
Acuicultura	Cosecha de productos del mar, recolección de algas de las granjas de acuicultura marina y terrestre.
Alimentos Silvestres	Cosecha de bayas, setas, (comestibles) plantas, caza de animales salvajes, la captura de peces como forma recreativa, la cría de animales domésticos y recolección de ornamentos naturales.
Madera	Presencia de arboles y plantas con potencial usufructo de madera.
Leña	Presencia de arboles y plantas con potencial uso como combustibles.
Medicina Natural	Productos naturales utilizados como bioquímicos, medicinas y cosméticos.
Agua Fresca	Capacidad de proveer agua dulce (Utilizada para beber, para uso doméstico, uso industrial, riego etc.)
<b>Servicios de Regulación</b>	
Regulación del Clima Local	Comprende la regulación de los componentes del clima local, como el viento, la precipitación, la temperatura, o la radiación debido a las propiedades de los ecosistemas y los procesos de control.
Regulación del Clima Global	Comprende la absorción y almacenamiento a largo plazo de gases de efecto invernadero en los ecosistemas, que permiten reducir las presiones sobre las concentraciones de CO2 en la atmósfera.
Control de Inundaciones	Los elementos naturales que ayudan en la amortiguación inundaciones extremas.
Recarga de Aguas Subterráneas	Capacidad de regular la recarga de acuífero. El tiempo y la magnitud de la escorrentía, las inundaciones, y la recarga de los mismo acuíferos pueden ser fuertemente influenciados por los cambios en la ocupación del suelo, incluyendo, en particular, alteraciones que modifican el potencial de almacenamiento de agua del sistema, tales como la conversión de humedales o la sustitución de los bosques con tierras de cultivo y tierras de cultivo con las zonas urbanas.
Regulación de la Calidad del Aire	Captura, adsorción, filtración de partículas de aire, productos químicos de polvo y gases debido a los procesos eco-químicos.
Regulación de la Erosión	Capacidad de los ecosistemas de evitar la erosión del suelo y deslizamientos. Las coberturas vegetacionales juegan un rol importante en este proceso.
Regulación de Nutrientes	Comprende el reciclaje, metabolización y almacenamiento de nutrientes.
Purificación del Agua	Capacidad de controlar las composiciones químicas en las aguas, sedimentos, pesticidas, o microbios causantes de enfermedades patógenas.
<b>Servicios Culturales</b>	
Recreación y Ecoturismo	Lugar donde la gente a menudo elegiría dónde pasar su tiempo libre con características de lo natural.
Valoración Estética	Muchas personas encuentran la belleza o valor estético en varios aspectos de los ecosistemas, como se refleja en el apoyo a los parques, escénico unidades, y la selección de los lugares de vivienda
Valor Religioso y Espiritual	Muchas religiones asocian los valores espirituales y religiosos en los ecosistemas o sus componentes.
Valor Educativo	Los ecosistemas, sus componentes y procesos proporcionan la base para la educación formal e informal en muchas sociedades.
Valor Cultural Heredado	Muchas sociedades valoran mucho el mantenimiento de cualquiera de sus parajes de importancia histórica ("paisajes culturales") o especies de importancia cultural.
Valor de Inspiración	Los ecosistemas proporcionan una rica fuente de inspiración para el arte, el folclore, símbolos nacionales, la arquitectura, la publicidad etc.
Relaciones Sociales	Cuánto influyen los ecosistemas en los tipos de relaciones sociales que se establecen en las culturas particulares. Sociedades de pesca, por ejemplo, difieren en muchos aspectos en sus relaciones sociales de pastoreo nómada o sociedades agrícolas.

Elaborado en base a MAE (2005), DE GROOT. (2006) y CONSTANZA et al. (1997)

## 8.2 Apéndice B.

Figura 18: Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo 1985

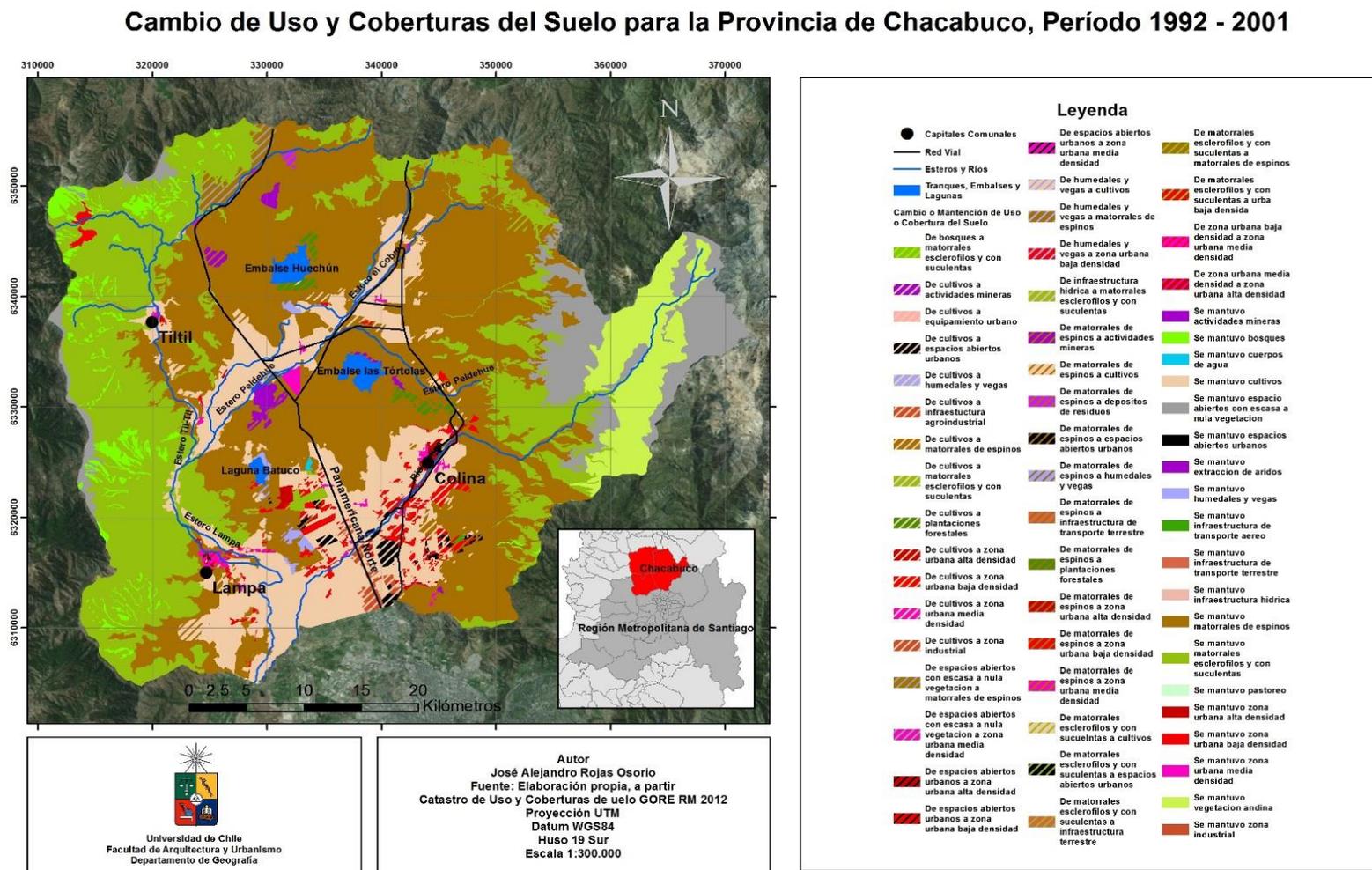


Fuente: Elaboración propia





Figura 21: Cartografía de Cambio de Usos y Coberturas del Suelo 1992 - 2001.



Fuente: Elaboración propia



Figura 23: Gráfico comparativo de superficies de Uso y coberturas del Suelo del suelo 1985 -1992.

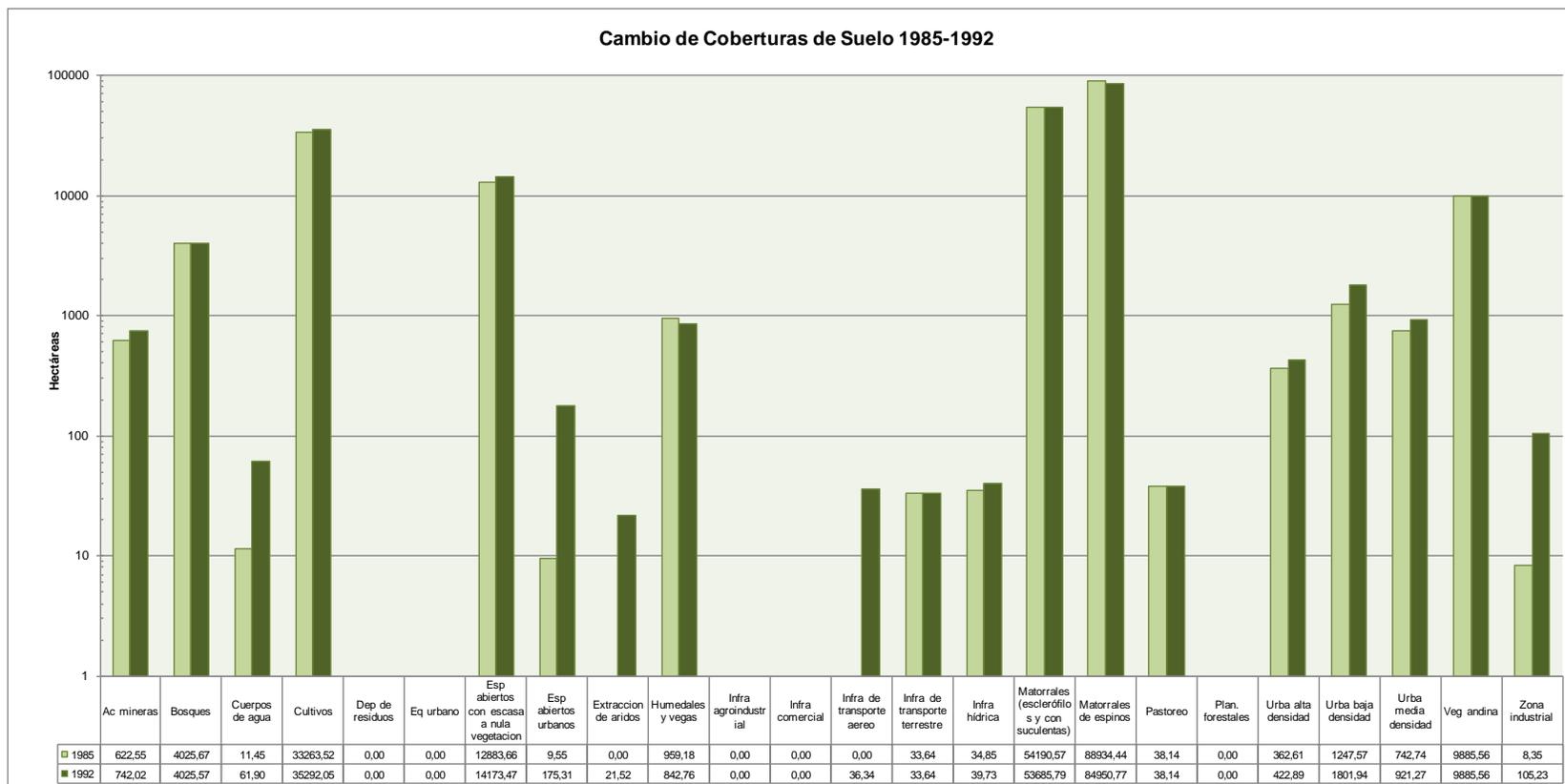


Figura 24: Gráfico de porcentaje de cambio de Usos y Coberturas del suelo 1985 -1992

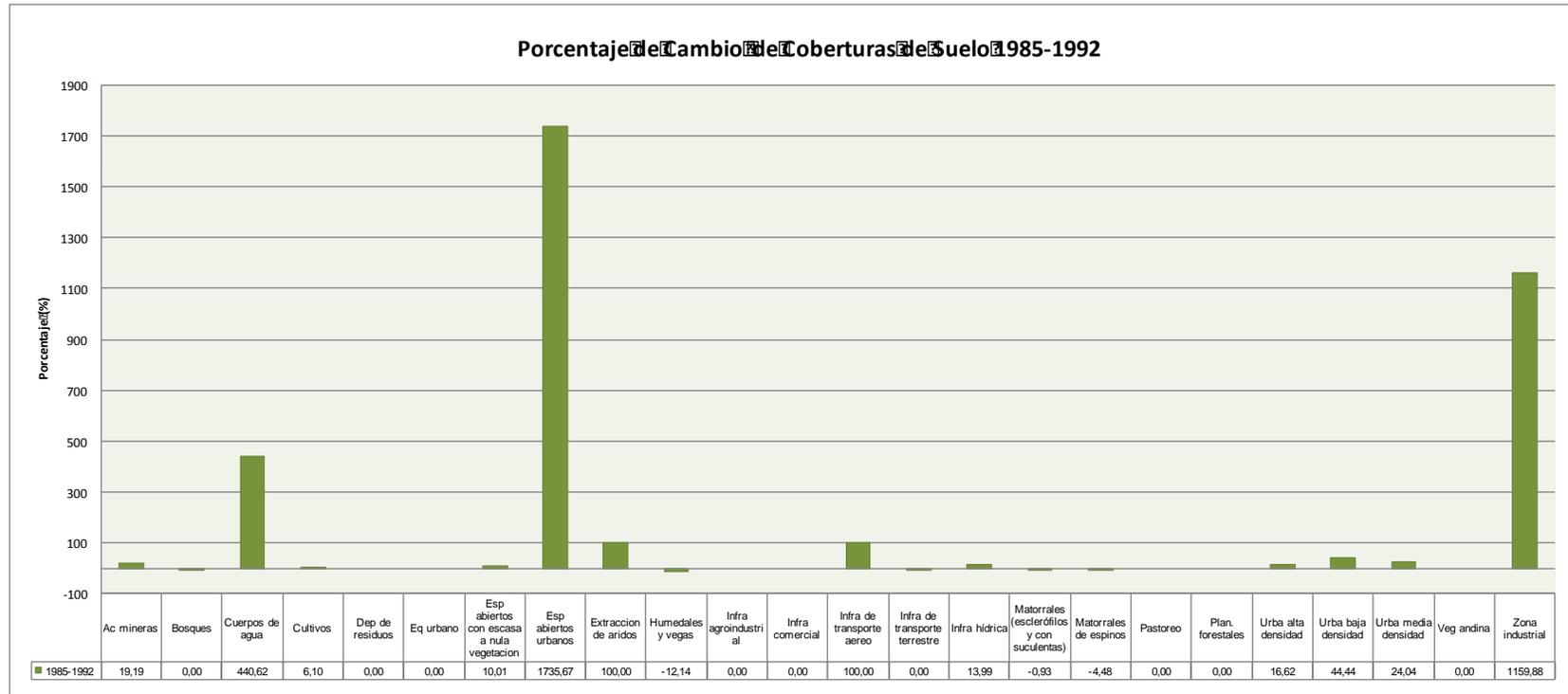


Figura 25 Gráfico comparativo de superficies de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001

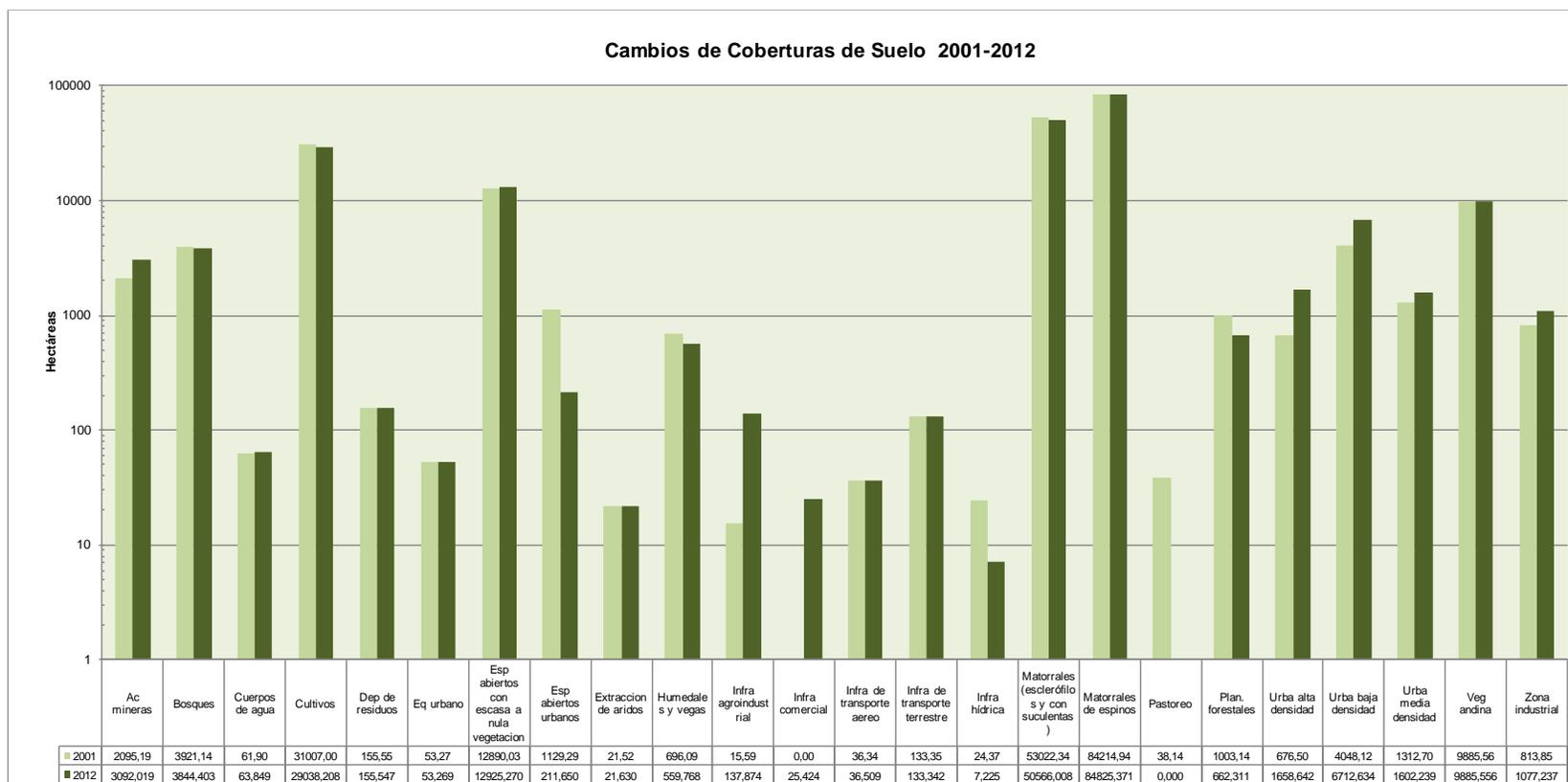


Figura 26: Gráfico de porcentaje de cambio de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001.

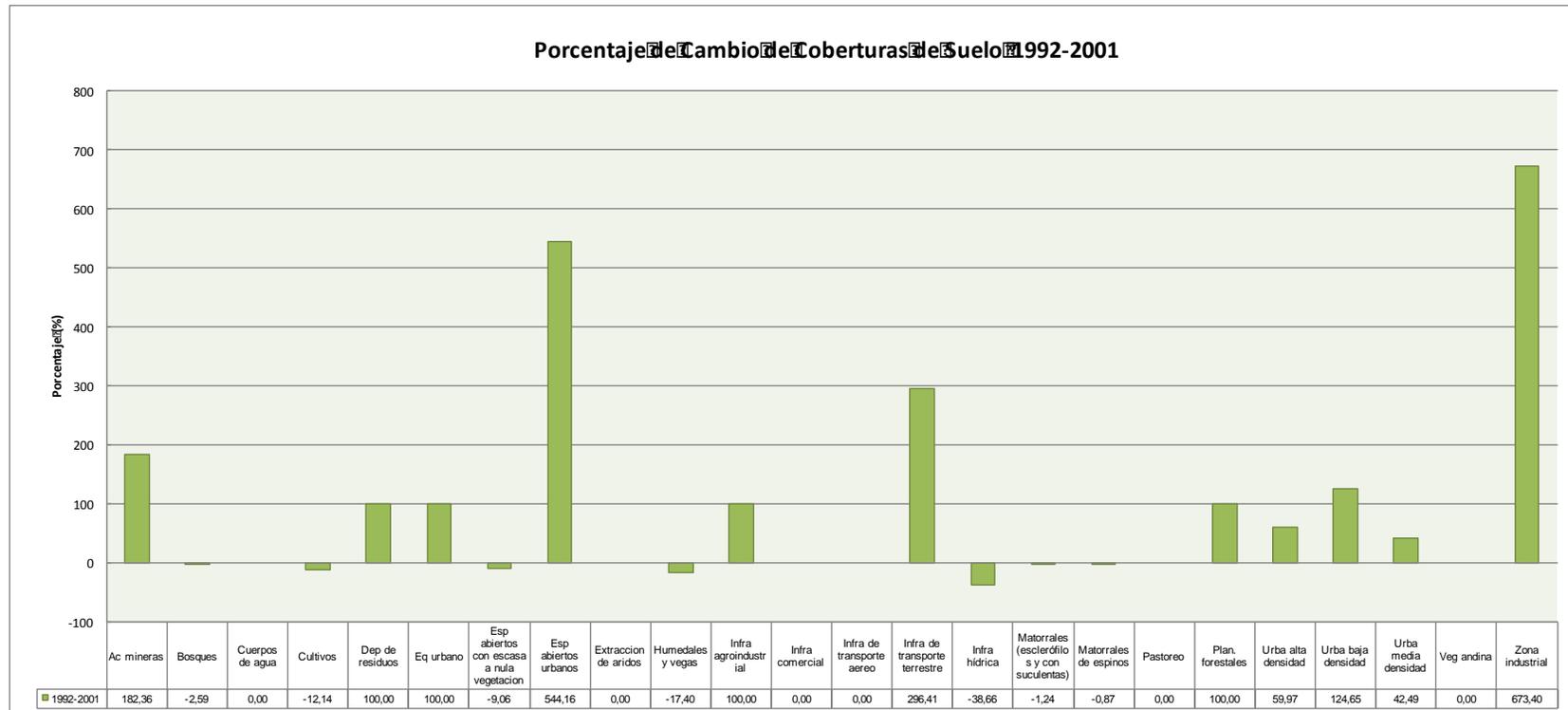


Figura 27: Gráfico comparativo de superficies de Usos y Coberturas del suelo 2001 - 2012.

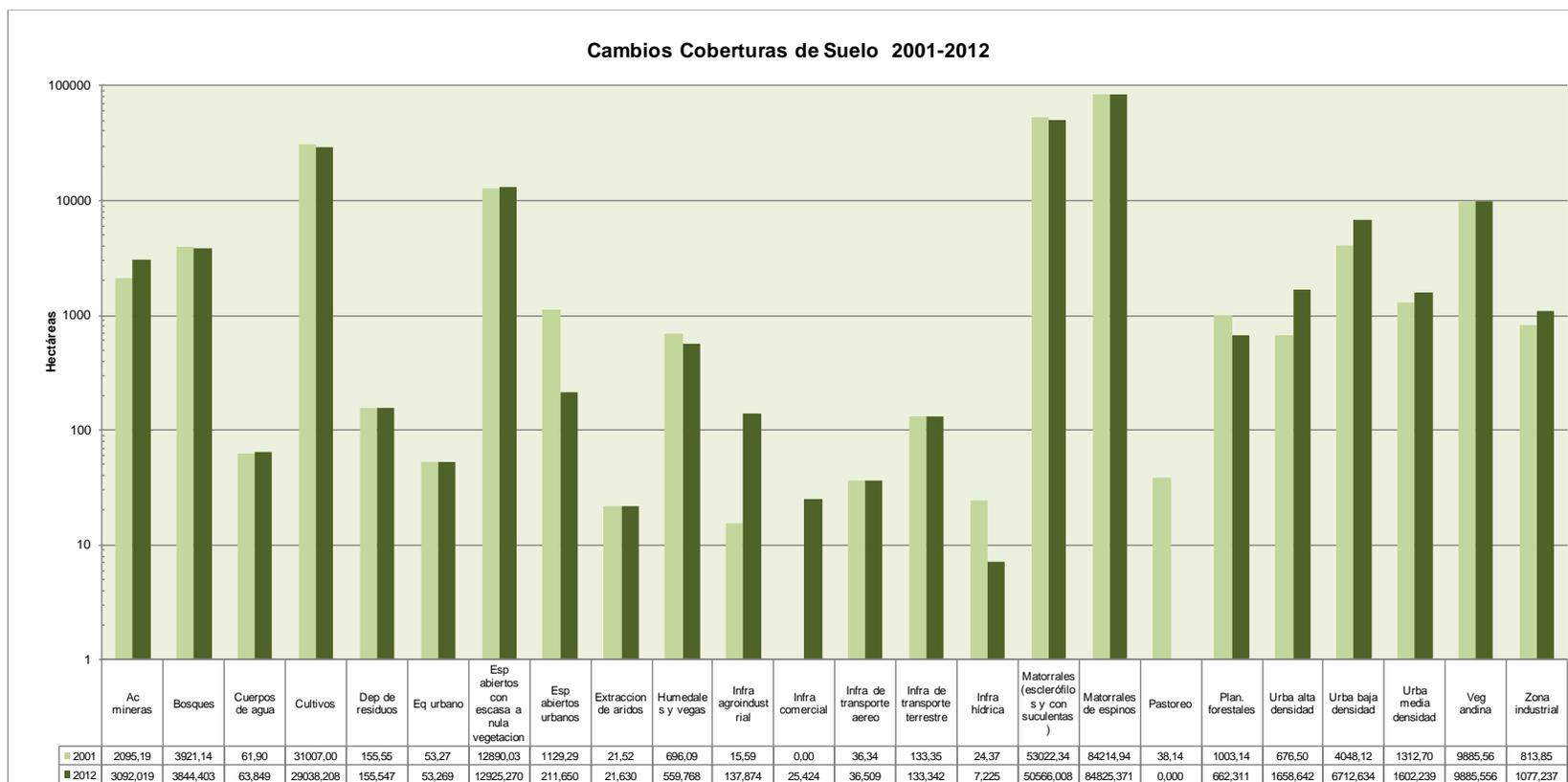
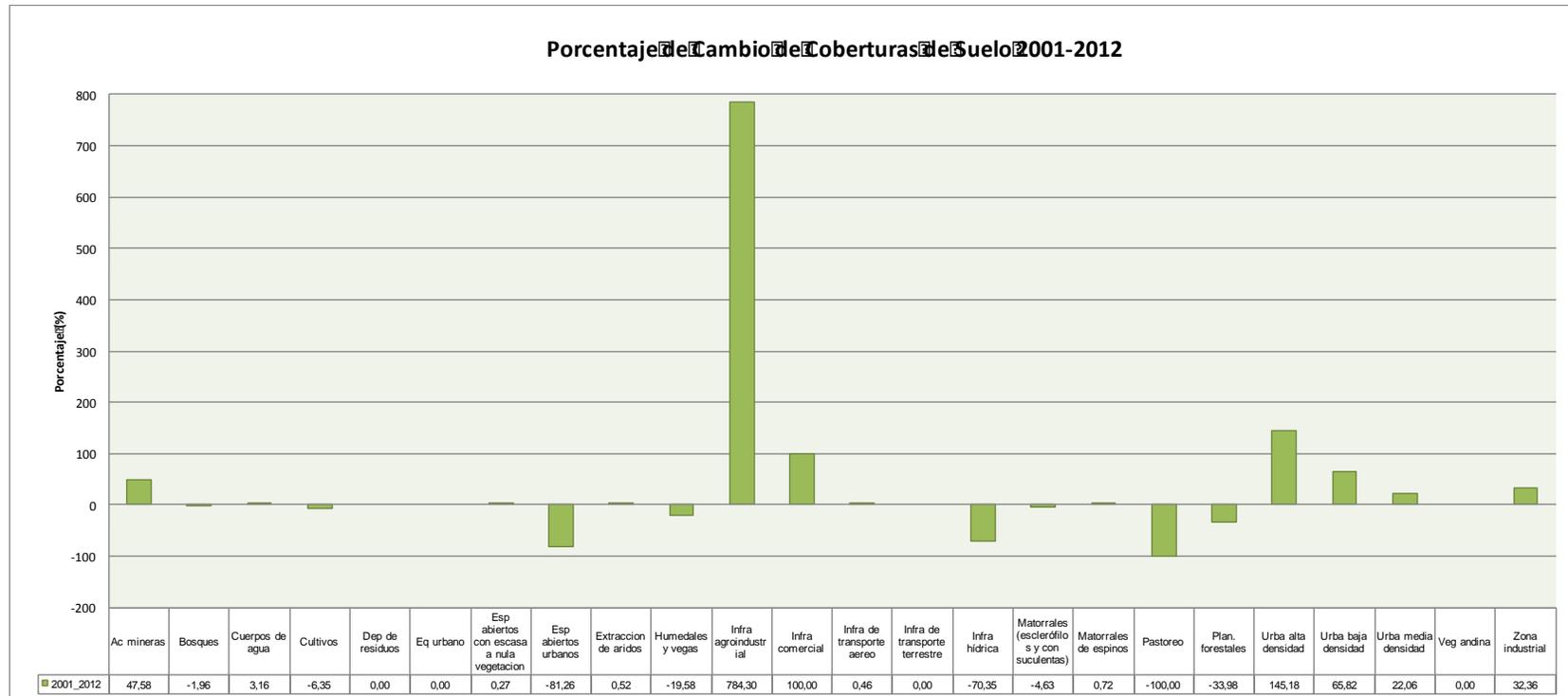


Figura 28: Gráfico de porcentaje de cambio de Usos y Coberturas del suelo 2001 - 2012.



### 8.3 Apéndice C.

Tabla 12: Tabla de probabilidad de cambio de Usos y Coberturas del suelo 1985 - 1992.

Cambio 1985-1992	Superficie (ha)
De matorrales de espinos a cultivos	3563,8
De matorrales de espinos a espacios abiertos con escasa a nula vegetacion	996,07
De cultivos a matorrales de espinos	962,51
De cultivos a urba baja densidad	419,05
De humedales y vegas a matorrales de espinos	303,2
De matorrales esclerofilos y con suculentas a espacios abiertos con escasa a nula vegetacio	290,53
De matorrales de espinos a humedales y vegas	267,24
De matorrales esclerofilos y con suculentas a cultivos	205,11
De matorrales de espinos a urba baja densidad	188,09
De matorrales esclerofilos y con suculentas a matorrales de espinos	166,38
De cultivos a espacios abiertos urbanos	130,46
De matorrales de espinos a matorrales esclerofilos y con suculentas	122,94
De matorrales de espinos a actividades mineras	105,56
De cultivos a urba media densidad	100,36
De cultivos a zona industrial	96,53
De cultivos a matorrales esclerofilos y con suculentas	82,6
De humedales y vegas a cultivos	80,6
De urba baja densidad a urba media densidad	66,16
De matorrales de espinos a urba media densidad	41,95
De matorrales de espinos a cuerpos de agua	40,78
De matorrales de espinos a infraestructura de transporte aereo	36,28
De matorrales de espinos a espacios abiertos urbanos	36,01
De urba media densidad a urba alta densidad	32,54
De matorrales esclerofilos y con suculentas a urba baja densida	27,23
De cultivos a urba alta densidad	27,15
De matorrales de espino a extraccion de aridos	21,5
De matorrales esclerofilos y con suculentas a cuerpos de agua	14,95
De cultivos a actividades mineras	14,02
De cuerpos de agua a matorrales de espinos	6,65
De matorrales esclerofilos y con suculentas a infraestructura hidrica	4,9
De espacios abiertos urbanos a urba baja densidad	1,12

Tabla 13: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 1985 - 1992.

Permanece sin cambios 1985 - 1992	Superficie (ha)
Se mantuvo matorrales de espinos	83530,19
Se mantuvo matorrales esclerofilos y con suculentas	53497,65
Se mantuvo cultivos	31443,38
Se mantuvo espacio abiertos con escasa a nula vegetacion	12883,66
Se mantuvo vegetacion andina	9882,54
Se mantuvo bosques	4014,64
Se mantuvo urba baja densidad	1161,14
Se mantuvo urba media densidad	710,21
Se mantuvo actividades mineras	622,83
Se mantuvo humedales y vegas	573,75
Se mantuvo urba alta densidad	363,13
Se mantuvo pastoreo	37,76
Se mantuvo infraestructura hidrica	34,89
Se mantuvo infraestructura de transporte terrestre	22,41
Se mantuvo espacios abiertos urbanos	8,46
Se mantuvo zona industrial	8,44
Se mantuvo cuerpos de agua	4,6

Tabla 14: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001.

Cambio 1992-2001	Superficie (ha)
De cultivos a matorrales de espinos	2109,19
De cultivos a urba baja densidad	1884,01
De matorrales de espinos a cultivos	1585,19
De matorrales de espinos a actividades mineras	1336,98
De espacios abiertos con escasa a nula vegetacion a matorrales de espinos	1276,55
De matorrales de espinos a plantaciones forestales	965,28
De cultivos a espacios abiertos urbanos	878,08
De cultivos a zona industrial	707,75
De matorrales esclerofilos y con suculentas a matorrales de espinos	541,44
De matorrales de espinos a urba baja densidad	477,16
De urba baja densidad a urba media densidad	243,4
De humedales y vegas a matorrales de espinos	190,83
De matorrales de espinos a espacios abiertos urbanos	165,77
De matorrales de espinos a depositos de residuos	155,33
De cultivos a urba media densidad	120,96
De matorrales esclerofilos y con suculentas a cultivos	108,6
De bosques a matorrales esclerofilos y con suculentas	103,35
De cultivos a urba alta densidad	98,88
De matorrales de espinos a urba media densidad	95,63
De matorrales esclerofilos y con suculentas a infraestructura terrestre	92,36
De urba media densidad a urba alta densidad	90,3
De matorrales esclerofilos y con suculentas a urba baja densidad	85,88
De cultivos a matorrales esclerofilos y con suculentas	75,22
De matorrales de espinos a humedales y vegas	70,47
De espacios abiertos urbanos a urba alta densidad	62,45
De cultivos a equipamiento urbano	53,58
De cultivos a plantaciones forestales	40,02
De espacios abiertos urbanos a urba baja densidad	34,14
De humedales y vegas a cultivos	31,27
De matorrales esclerofilos y con suculentas a espacios abiertos urbanos	27,43
De espacios abiertos urbanos a urba media densidad	19,5
De cultivos a actividades mineras	16,62
De cultivos a infraestructura agroindustrial	15,73
De infraestructura hidrica a matorrales esclerofilos y con suculentas	15,12
De matorrales de espinos a urba alta densidad	13,5
De cultivos a humedales y vegas	8,99
De espacios abiertos con escasa a nula vegetacion a urbana media densidad	6,12
De matorrales de espinos a infraestructura de transporte terrestre	6,09
De humedales y vegas a urba baja densidad	3,02

Tabla 15: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 1992 - 2001.

Permanece sin cambios 1992 - 2001	Superficie (ha)
Se mantuvo matorrales de espinos	80089,53
Se mantuvo matorrales esclerofilos y con suculentas	52837,52
Se mantuvo cultivos	29277,88
Se mantuvo espacio abiertos con escasa a nula vegetacion	12890,97
Se mantuvo vegetacion andina	9882,15
Se mantuvo bosques	3912,74
Se mantuvo urba baja densidad	1559,52
Se mantuvo urba media densidad	831,28
Se mantuvo actividades mineras	742,69
Se mantuvo humedales y vegas	616,11
Se mantuvo urba alta densidad	422,49
Se mantuvo zona industrial	105,07
Se mantuvo cuerpos de agua	61,85
Se mantuvo espacios abiertos urbanos	59,46
Se mantuvo pastoreo	37,76
Se mantuvo infraestructura de transporte aereo	36,2
Se mantuvo infraestructura de transporte terrestre	30,65
Se mantuvo infraestructura hidrica	24,32
Se mantuvo extraccion de aridos	21,5

Tabla 16: Tabla de probabilidad de cambio de usos del suelo 2001 - 2012.

Cambio 2001-2012	Superficie (ha)
De matorrales esclerofilos y con suculentas a matorrales de espinos	2614,96
De cultivos a matorrales de espinos	1531,13
De matorrales de espinos a cultivos	1515,76
De cultivos a urba baja densidad	1079,19
De matorrales de espinos a actividades mineras	941,24
De espacios abiertos urbanos a urba baja densidad	932,32
De matorrales de espinos a urba baja densidad	847,09
De plantaciones forestales a matorrales de espinos	454,85
De matorrales de espinos a urba alta densidad	382,29
De cultivos a urba alta densidad	357,56
De cultivos a zona industrial	242,79
De matorrales de espinos a plantaciones forestales	170,01
De cultivos a urba media densidad	139,01
De humedales y vegas a matorrales de espinos	125,11
De urba baja densidad a urba media densidad	121,68
De matorrales de espinos a urba media densidad	119,55
De urba media densidad a urba alta densidad	116,03
De urba baja densidad a urba alta densidad	113,61
De bosques a matorrales esclerofilos y con suculentas	76,82
De cultivos a infraestructura agroindustrial	62,6
De matorrales de espinos a matorrales esclerofilos y con suculentas	61,49
De matorrales de espinos a infraestructura agroindustrial	59,67
De cultivos a espacios abiertos urbanos	59,43
De plantaciones forestales a actividades mineras	55,81
De cultivos a matorrales esclerofilos y con suculentas	44,45
De humedales y vegas a cultivos	39,61
De pastoreo a matorrales de espinos	37,76
De matorrales esclerofilos y con suculentas a urba baja densidad	37,13
De matorrales esclerofilos y con suculentas a espacios abiertos con escasa a nula vegetacion	35,32
De espacios abiertos urbanos a urba media densidad	24,35
De matorrales de espinos a cuerpos de agua	24,11
De cuerpos de agua a cultivos	23,12
De espacios abiertos urbanos a zona industrial	20,73
De matorrales de espinos a humedales y vegas	18,36
De infraestructura hidrica a matorrales esclerofilos y con suculentas	17,05
De cultivos a infraestructura comercial	13,29
De matorrales de espinos a infraestructura comercial	11,91
De cultivos a humedales y vegas	10,96
De matorrales esclerofilos y con suculentas a urba alta densidad	10,57
De espacios abiertos urbanos a urba alta densidad	1,26
De matorrales de espino a extraccion de aridos	0,32

Tabla 17: Tabla de permanencia de Usos y Coberturas del suelo 2001 - 2012.

Permanece sin cambios 2001 - 2012	Superficie (ha)
Se mantuvo matorrales de espinos	80065,66
Se mantuvo matorrales esclerofilos y con suculentas	50334,51
Se mantuvo cultivos	27461,28
Se mantuvo espacio abiertos con escasa a nula vegetacion	12891,1
Se mantuvo vegetacion andina	9882,15
Se mantuvo bosques	3836,02
Se mantuvo urba baja densidad	3813,45
Se mantuvo actividades mineras	2096,42
Se mantuvo urba media densidad	1195,47
Se mantuvo zona industrial	813,72
Se mantuvo urba alta densidad	678,59
Se mantuvo humedales y vegas	530,24
Se mantuvo plantaciones forestales	492,89
Se mantuvo depositos de residuos	155,33
Se mantuvo espacios abiertos urbanos	152,04
Se mantuvo infraestructura de transporte terrestre	129,14
Se mantuvo equipamiento urbano	53,58
Se mantuvo cuerpos de agua	39,03
Se mantuvo infraestructura de transporte aereo	36,2
Se mantuvo extraccion de aridos	21,55
Se mantuvo infraestructura agroindustrial	15,73
Se mantuvo infraestructura hidrica	7,29

## 8.4 Apéndice D.

Tabla 18: Métricas del paisaje 1985.

Usos y Coberturas	Área Total (CA/TA) (ha)	Porcentaje del paisaje (PLAND) (%)	Número de parches (NP)	Densidad de parches (PD)	Índice parche mas grande (LPI) (%)	Tamaño promedio de parche (AREA_MN) (há)	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) ( m )	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) (km)
Paisaje	207.256,87	-	315	0.1520	41,29	657,96	9082,84	9,08
Matorrales de espinos	88.935,84	42,91	19	0,0092	41,29	46.808,34	2332,42	2,33
Matorrales (esclerofilos y con suculentas)	54.184,64	26,14	62	0,0299	17,85	8.739,46	2756,90	2,76
Cultivos	33.264,95	16,0501	23	0,0111	10,39	14.463,02	3172,07	3,17
Espacios abiertos con escasa a nula vegetacion	12.881,18	6,22	25	0,0121	2,36	5.152,47	1617,08	1,62
Vegetacion andina	9.886,50	4,77	1	0,0005	4,77	98.865,00	N/A	N/A
Bosques	4.027,74	1,94	101	0,0487	0,28	398,79	2153,77	2,15
Urba baja densidad	1.247,29	0,6018	44	0,0212	0,09	283,47	16419,31	16,42
Humedales y vegas	959,31	0,46	3	0,0014	0,21	3.197,71	65920,79	65,92
Urba media densidad	744,75	0,36	17	0,0082	0,13	438,09	35925,14	35,93
Actividades mineras	622,60	0,30	2	0,001	0,20	3.112,98	158312,67	158,31
Urba alta densidad	362,27	0,1748	3	0,0014	0,10	1.207,56	132684,99	132,68
Infra de transporte terrestre	38,19	0,02	9	0,0043	0,01	42,44	608,14	0,61
Pastoreo	37,99	0,02	1	0,0005	0,02	379,91	N/A	N/A
Infraestructura hidrica	34,48	0,02	1	0,0005	0,02	344,76	N/A	N/A
Cuerpos de agua	11,49	0,0055	1	0,0005	0,01	114,92	N/A	N/A
Espacios abiertos urbanos	9,06	0,00	1	0,0005	0,00	90,58	N/A	N/A
Zona industrial	8,59	0,0041	2	0,001	0,00	42,93	9214,42	9,21

Tabla 19: Métricas del paisaje 1992.

Usos y Coberturas	Área Total (CA/TA) (ha)	Porcentaje del paisaje (PLAND) (%)	Número de parches (NP)	Densidad de parches (PD)	Índice parche mas grande (LPI) (%)	Tamaño promedio de parche (AREA_MN) (há)	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) ( m )	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) (km)
Paisaje	207.256,87	-	332	0.1602	37,51	624,27	11126,70	11,13
Matorrales de espinos	84.920,74	40,97	22	0,0106	37,51	3.860,03	2468,13	2,47
Vegetacion andina	54.114,61	26,11	62	0,0299	17,90	872,82	2833,99	2,83
Cultivos	35.296,93	17,0305	31	0,015	11,20	1.138,61	4635,34	4,64
Espacios abiertos con escasa a nula vegetacion	14.171,26	6,84	27	0,013	2,36	524,86	3021,22	3,02
Vegetacion andina	9.886,50	4,77	1	0,0005	4,77	9.886,50	N/A	N/A
Bosques	3.615,32	1,74	73	0,0352	0,28	49,52	3954,83	3,95
Urba baja densidad	1.803,23	0,87	56	0,027	0,09	32,20	12973,61	12,97
Urba media densidad	937,61	0,45	22	0,0106	0,13	42,62	26025,51	26,03
Humedales y vegas	843,04	0,41	4	0,0019	0,21	210,76	43704,72	43,70
Actividades mineras	742,25	0,36	3	0,0014	0,24	247,42	115918,01	115,92
Urba alta densidad	422,30	0,2038	4	0,0019	0,10	105,57	108694,58	108,69
Espacios abiertos urbanos	160,62	0,08	5	0,0024	0,02	32,12	49824,11	49,82
Zona industrial	109,11	0,05	7	0,0034	0,01	15,59	4411,82	4,41
Cuerpos de agua	62,33	0,03	2	0,001	0,02	31,16	176292,46	176,29
Infraestructura hidrica	39,21	0,0189	1	0,0005	0,02	39,21	N/A	N/A
Pastoreo	37,99	0,02	1	0,0005	0,02	37,99	N/A	N/A
Infra de transporte aereo	36,37	0,0175	1	0,0005	0,02	36,37	N/A	N/A
Infra de transporte terrestre	36,03	0,02	9	0,0043	0,01	4,00	603,45	0,60
Extraccion de aridos	21,43	0,01	1	0,0005	0,01	21,43	N/A	N/A

Tabla 20: Métricas del paisaje 2001.

Usos y Coberturas	Área Total (CA/TA) (ha)	Porcentaje del paisaje (PLAND) (%)	Número de parches (NP)	Densidad de parches (PD)	Índice parche mas grande (LPI) (%)	Tamaño promedio de parche (AREA_MN) (há)	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) ( m )	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) (km)
Paisaje	207.256,87	-	425	0.2051	37,15	487,66	8399,90	8,40
Matorrales de espinos	83.938,18	40,50	40	0,0193	37,15	2.098,45	2533,76	2,53
Matorrales (esclerofilos y con suculentas)	53.460,11	25,79	66	0,0318	17,85	810,00	2661,43	2,66
Cultivos	30.960,66	14,9383	39	0,0188	8,54	793,86	3980,93	3,98
Espacios abiertos con escasa a nula vegetacion	12.887,67	6,22	26	0,0125	2,36	495,68	2275,79	2,28
Vegetacion andina	9.886,50	4,77	1	0,0005	4,77	9.886,50	0,00	0,00
Urba baja densidad	4.051,88	1,96	85	0,041	0,22	47,67	4325,54	4,33
Bosques	3.510,40	1,6937	70	0,0338	0,28	50,15	3828,52	3,83
Actividades mineras	2.095,26	1,01	6	0,0029	0,35	349,21	34623,42	34,62
Urba media densidad	1.298,39	0,63	22	0,0106	0,13	59,02	21722,36	21,72
Espacios abiertos urbanos	1.140,89	0,55	21	0,0101	0,17	54,33	10370,45	10,37
Plantaciones forestales	1.004,27	0,4846	3	0,0014	0,23	334,76	45956,76	45,96
Zona industrial	813,97	0,39	9	0,0043	0,18	90,44	1262,93	1,26
Humedales y vegas	696,01	0,34	4	0,0019	0,13	174,00	48924,78	48,92
Urba alta densidad	690,26	0,33	10	0,0048	0,14	69,03	27088,68	27,09
Infraestructura hidrica	304,20	0,1468	2	0,001	0,14	152,10	97591,82	97,59
Depositos de residuos	155,68	0,08	1	0,0005	0,08	155,68	N/A	N/A
Infra de transporte terrestre	135,67	0,0655	10	0,0048	0,05	13,57	26874,90	26,87
Cuerpos de agua	62,33	0,03	2	0,001	0,02	31,16	176292,46	176,29
Equipamiento urbano	53,34	0,03	4	0,0019	0,02	13,33	14177,06	14,18
Pastoreo	37,99	0,02	1	0,0005	0,02	37,99	N/A	N/A
Infra de transporte aereo	36,37	0,0175	1	0,0005	0,02	36,37	N/A	N/A
Extraccion de aridos	21,43	0,01	1	0,0005	0,01	21,43	N/A	N/A
Infra agroindustrial	15,41	0,01	1	0,0005	0,01	15,41	N/A	N/A

Tabla 21: Métricas del paisaje 2012

Uso y Coberturas	Área Total (CA/TA) (ha)	Porcentaje del paisaje (PLAND) (%)	Número de parches (NP)	Densidad de parches (PD)	Índice parche mas grande (LPI) (%)	Tamaño promedio de parche (AREA_MN) (há)	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) ( m )	Distancia euclidiana promedio (EMN_MN) (km)
Paisaje	207256,87	-	376	0.1814	37,68	551,22	8812,55	8,81
Matorrales de espinos	84602,14	40,82	31	0,015	37,68	2729,10	1942,05	1,94
Matorrales (esclerofilos y con suculentas)	50952,62	24,58	64	0,031	17,73	796,13	3251,03	3,25
Cultivos	29052,38	14,02	30	0,015	7,94	968,41	4180,62	4,18
Espacios abiertos con escasa a nula vegetacion	12923,02	6,24	26	0,013	2,37	497,04	2275,79	2,28
Vegetacion andina	9886,50	4,77	1	0,001	4,77	9886,50	N/A	N/A
Urba baja densidad	6653,46	3,21	65	0,031	1,43	102,36	6223,41	6,22
Bosques	3424,08	1,65	68	0,033	0,28	50,35	3981,47	3,98
Actividades mineras	3092,29	1,49	6	0,003	0,41	515,38	28710,47	28,71
Urba alta densidad	1641,73	0,79	16	0,008	0,20	102,61	17930,38	17,93
Urba media densidad	1609,29	0,78	26	0,013	0,16	61,90	16386,66	16,39
Zona industrial	1074,23	0,52	6	0,003	0,23	179,04	693,33	0,69
Plantaciones forestales	663,16	0,32	5	0,002	0,15	132,63	3163,58	3,16
Humedales y vegas	558,98	0,27	3	0,001	0,12	186,33	22331,67	22,33
Infraestructura hidrica	307,78	0,15	2	0,001	0,14	153,89	101241,54	101,24
Espacios abiertos urbanos	186,31	0,09	1	0,001	0,09	186,31	N/A	0,00
Depositos de residuos	155,68	0,08	1	0,001	0,08	155,68	N/A	N/A
Infra agroindustrial	137,77	0,07	3	0,001	0,03	45,92	180232,63	180,23
Infra de transporte terrestre	135,06	0,07	13	0,006	0,04	10,39	609,68	0,61
Cuerpos de agua	63,61	0,03	2	0,001	0,02	31,81	176267,15	176,27
Equipamiento urbano	53,34	0,03	4	0,002	0,02	13,33	14177,06	14,18
Infra de transporte aereo	36,44	0,02	1	0,001	0,02	36,44	N/A	N/A
Infra comercial	25,42	0,01	1	0,001	0,01	25,42	N/A	N/A
Extraccion de aridos	21,56	0,01	1	0,001	0,01	21,56	N/A	0,00

### 8.5 Apéndice E.

Figura 29: Matriz de evaluación de Servicios Ecosistémicos en base a valores de Burkhard et al., 2009.

	Funciones ecológicas										Servicios de provisión										Servicios de Regulación										Servicios Culturales									
	Heterogeneidad Abiótica	Biodiversidad/ Habitat	Ciclos de agua	Formación de suelo	Fotosíntesis/ Producción de Oxígeno	Ciclo de nutrientes	producción primaria	Polinización	Cultivos	Ganado	Forraje	Captura de Peces	Acuicultura	Alimentos Silvestres	Madera	Leña	Medicina natural	Agua Fresca	Regulación del Clima Local	Regulación del Clima Global	Control de Inundaciones	Recarga de Aguas Subterráneas	Regulación de la Calidad del Aire	Regulación de la Erosión	Regulación de Nutrientes	Purificación del Agua	Recreación y ecoturismo	valoración esteico	Valor religioso y espiritual	valor educativo	Valor cultural heredado	Valor de inspiración	Relaciones sociales							
Urbanización Alta Densidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2						
**Urbanización Media Densidad	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1						
Urbanización Baja Densidad	3	1	1	0	1	0	0	0	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1						
Zonas Industrial	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Infraestructura Comercial	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	2	0	0	0	0	3						
Infraestructura de Transporte Terrestre	7	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Aeropuerto	5	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Actividades Mineras	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0						
Extracción de Aridos	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0						
Depositos de Residuos	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Espacios Abiertos Urbanos	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Equipamiento Urbano	22	3	3	3	3	4	3	2	1	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	10	2	1	0	2	1	2	1	1	23	3	5	4	2	1	4	4			
*Espacios Abiertos con Nula o Poca Vegetación	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
*Vegetación andina	13	2	3	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0				
*Matorral Esclerófilo	29	3	4	4	5	3	4	4	2	8	0	2	0	0	0	1	0	2	3	0	5	2	1	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0				
**Matorrales de Espinos	8	0	1	1	1	3	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
**Plantaciones Forestales	23	4	4	1	1	4	3	3	3	14	3	3	2	0	0	0	3	3	0	10	2	1	1	1	1	2	1	1	5	3	2	0	0	0	0	0				
Cultivo	16	2	2	2	1	4	4	1	0	16	5	5	5	0	0	0	0	0	1	0	7	2	1	1	1	1	1	0	0	3	1	0	0	0	2	0	0			
Pradera (Pastoreo)	17	2	2	1	1	5	2	4	0	10	0	5	5	0	0	0	0	0	0	8	1	1	1	1	0	4	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0				
Bosque	34	4	5	4	4	5	4	4	4	19	0	0	1	0	0	5	5	5	3	0	35	5	4	4	3	5	5	5	4	20	4	4	3	4	2	3	0			
Humedal	24	2	3	5	2	3	5	4	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	5	0	0	0	2	0	18	3	3	1	4	2	4	1				
Vega	24	3	2	4	4	4	4	3	0	7	0	2	5	0	0	0	0	0	0	14	2	2	4	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30: Matriz de evaluación de Funciones y Servicios Ecosistémicos ponderada

	Funciones ecológicas										Servicios de provisión										Servicios de Regulación										Servicios Culturales									
	Heterogeneidad Abiótica	Biodiversidad/ Habitat	Círculos de agua	Formación de suelo	Fotosíntesis/ Producción de Oxígeno	Ciclo de nutrientes	producción primaria	Polinización	Cultivos	Ganado	Forraje	Captura de Peces	Acuicultura	Alimentos Silvestres	Madera	Leña	Medicina natural	Agua Fresca	Regulación del Clima Local	Regulación del Clima Global	Control de Inundaciones	Recarga de Aguas Subterráneas	Regulación de la Calidad del Aire	Regulación de la Erosión	Regulación de Nutrientes	Purificación del Agua	Recreación y ecoturismo	valoración estético	Valor religioso y espiritual	valor educativo	Valor cultural heredado	Valor de inspiración	Relaciones sociales							
Urbanización Alta Densidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	2						
**Urbanización Media Densidad	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1						
Urbanización Baja Densidad	3	1	1	0	1	0	0	0	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1						
Zonas Industrial	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Infraestructura Comercial	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	2	0	0	0	0	3						
Infraestructura de Transporte Terrestre	7	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Aeropuerto	5	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Actividades Mineras	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0						
Extracción de Aridos	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0							
Depositos de Residuos	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Espacios Abiertos Urbanos	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Equipamiento Urbano	23	3	3	3	3	4	3	2	2	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	14	3	1	0	2	4	2	1	1	23	3	5	4	2	1	4	4				
*Espacios Abiertos con Nula o Poca Vegetación	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
*Vegetación andina	13	2	3	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	1	2	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0					
*Matorral Esclerófilo	29	3	4	4	5	3	4	4	2	8	0	2	0	0	1	0	2	3	15	3	2	5	1	0	4	0	0	4	2	2	0	0	0	0	0					
**Matorrales de Espinos	8	0	1	1	1	3	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0					
**Plantaciones Forestales	23	4	4	1	1	4	3	3	3	15	3	3	2	0	0	0	4	3	0	10	2	1	1	1	1	2	1	1	5	3	2	0	0	0	0					
Cultivo	16	2	2	2	1	4	4	1	0	16	5	5	5	0	0	0	0	1	0	7	2	1	1	1	1	1	0	0	3	1	0	0	2	0	0					
Pradera (Pastoreo)	17	2	2	1	1	5	2	4	0	10	0	5	5	0	0	0	0	0	8	1	1	1	1	0	4	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0					
Bosque	35	4	5	4	5	5	4	4	4	24	0	0	1	0	0	5	5	5	3	35	5	4	4	3	5	5	5	4	20	4	4	3	4	2	3	0				
Humedal	24	2	3	5	2	3	5	4	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	13	1	0	5	0	0	0	2	5	18	3	3	1	4	2	4	1					
Vega	24	3	2	4	4	4	4	3	0	7	0	2	5	0	0	0	0	0	17	2	2	4	2	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31: Matriz de Funciones y Servicios Ecosistémicos provistos por categoría y valores totales.

	Funciones Ecológicas										Servicios de posicionamiento										Servicios de Regulación										Servicios Culturales										Total de Funciones y Servicios
	Heterogeneidad Abiótica	Biodiversidad/ Habitat	Círculos de agua	Formación de suelo	Fotosíntesis/ Producción de Oxígeno	Ciclo de nutrientes	producción primaria	Polinización	Cultivos	Ganado	Forraje	Captura de Peques	Acuicultura	Alimentos Silvestres	Madera	Leña	Medicina natural	Agua Fresca	Regulación del Clima Local	Regulación del Clima Global	Control de Inundaciones	Recarga de Aguas Subterráneas	Regulación de la Calidad del Aire	Regulación de la Erosion	Regulación de Nutrientes	Purificación del Agua	Recreación y ecoturismo	valoración esteico	Valor religioso y espiritual	valor educativo	Valor cultural heredado	Valor de inspiración	Relaciones sociales								
Urbanización Alta Densidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
**Urbanización Media Densidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Urbanización Baja Densidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Zonas Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Infraestructura Comercial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1					
Infraestructura de Transporte Terrestre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Aeropuerto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Actividades Mineras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Extracción de Aridos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Depositos de Residuos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Espacios Abiertos Urbanos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Equipamiento Urbano	6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	5	1	1	1	0	0	1	1	1						
*Espacios Abiertos con Nula o Poca Vegetación	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
*Vegetación andina	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
*Matorral Esclerófilo	7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
**Matorrales de Espinos	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
**Plantaciones Forestales	5	1	1	0	0	1	1	1	0	4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0						
Cultivo	2	0	0	0	1	1	0	0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Pradera (Pastoreo)	2	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Bosque	8	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	0	1	0	0						
Humedal	5	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	4	1	1	0	1	0	1	0							
Vega	5	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0							

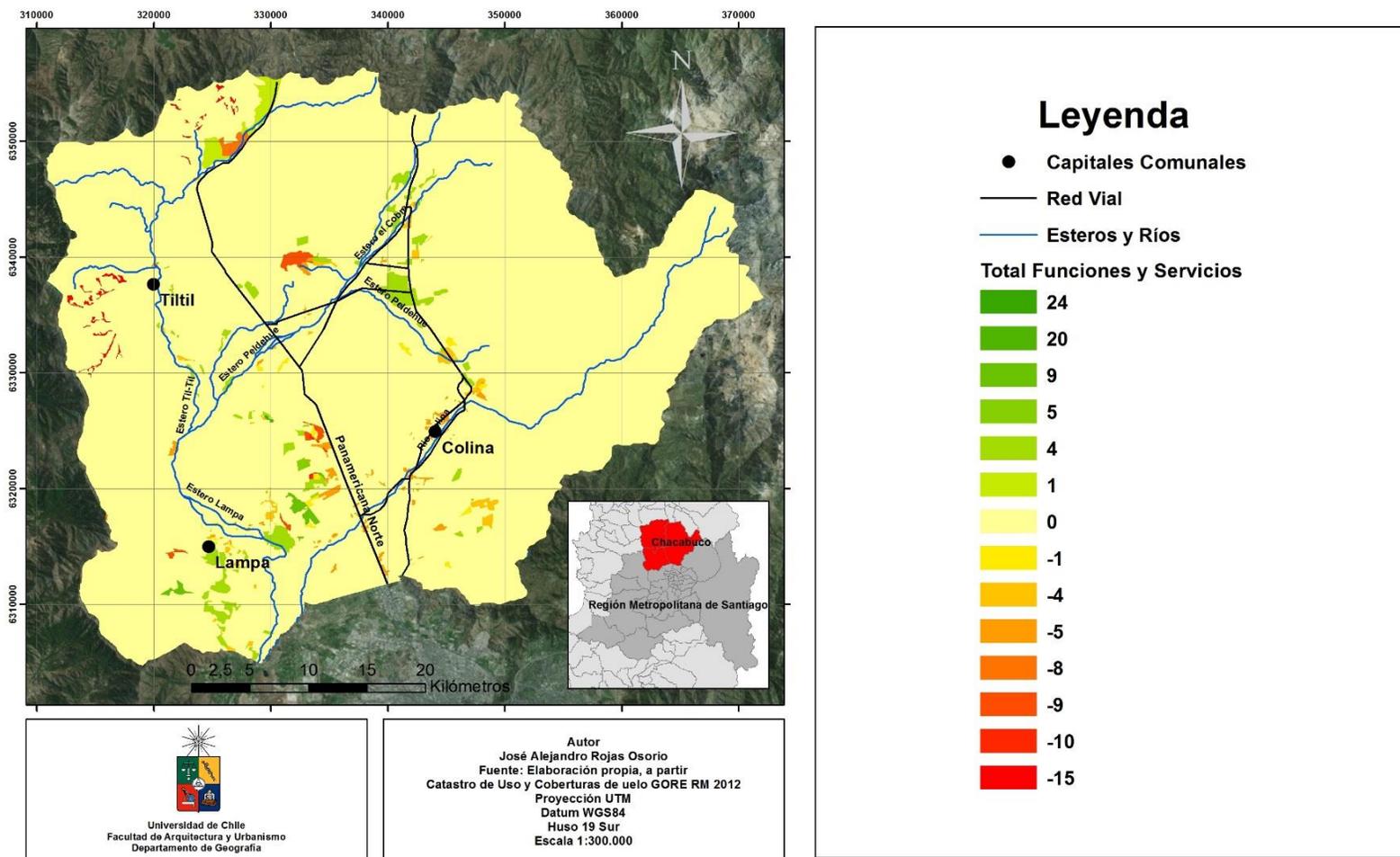
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Resumen de funciones y servicios provistos por Usos y Coberturas del suelo.

Usos y Coberturas	Funciones Ecológicas	Servicios de posicionamiento	Servicios de Regulación	Servicios Culturales	Total de Funciones y Servicios
Urbanización Alta Densidad	0	0	0	0	0
**Urbanización Media Densidad	0	0	0	0	0
Urbanización Baja Densidad	0	0	0	0	0
Zonas Industrial	0	0	0	0	0
Infraestructura Comercial	0	0	0	1	1
Infraestructura de Transporte Terrestre	0	0	0	0	0
Aeropuerto	0	0	0	0	0
Actividades Mineras	0	0	0	0	0
Extracción de Aridos	0	0	0	0	0
Depositos de Residuos	0	0	0	0	0
Espacios Abiertos Urbanos	0	0	0	0	0
Equipamiento Urbano	6	0	2	5	13
*Espacios Abiertos con Nula o Poca Vegetación	2	0	0	0	2
*Vegetación andina	2	0	0	0	2
*Matorral Esclerófilo	7	1	3	0	11
**Matorrales de Espinos	1	0	0	0	1
**Plantaciones Forestales	5	4	0	1	10
Cultivo	2	3	0	0	5
Pradera (Pastoreo)	2	2	1	0	5
Bosque	8	5	8	5	26
Humedal	5	0	2	4	11
Vega	5	1	3	0	9

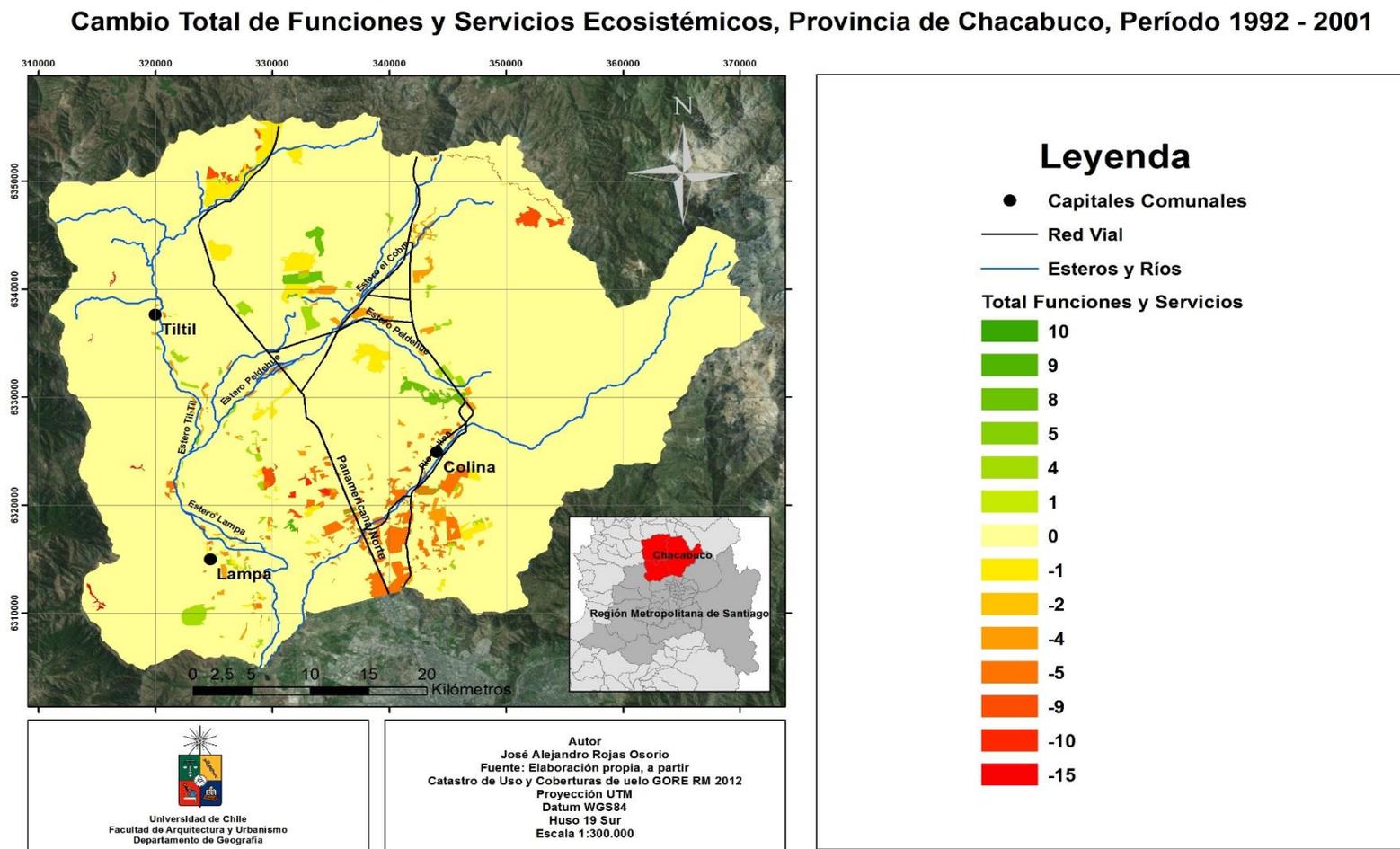
Figura 32: Cartografía de Potencial de Funciones y Servicios Ecosistémicos 1985-1992

### Cambio Total de Funciones y Servicios Ecosistémicos, Provincia de Chacabuco, Período 1985 - 1992



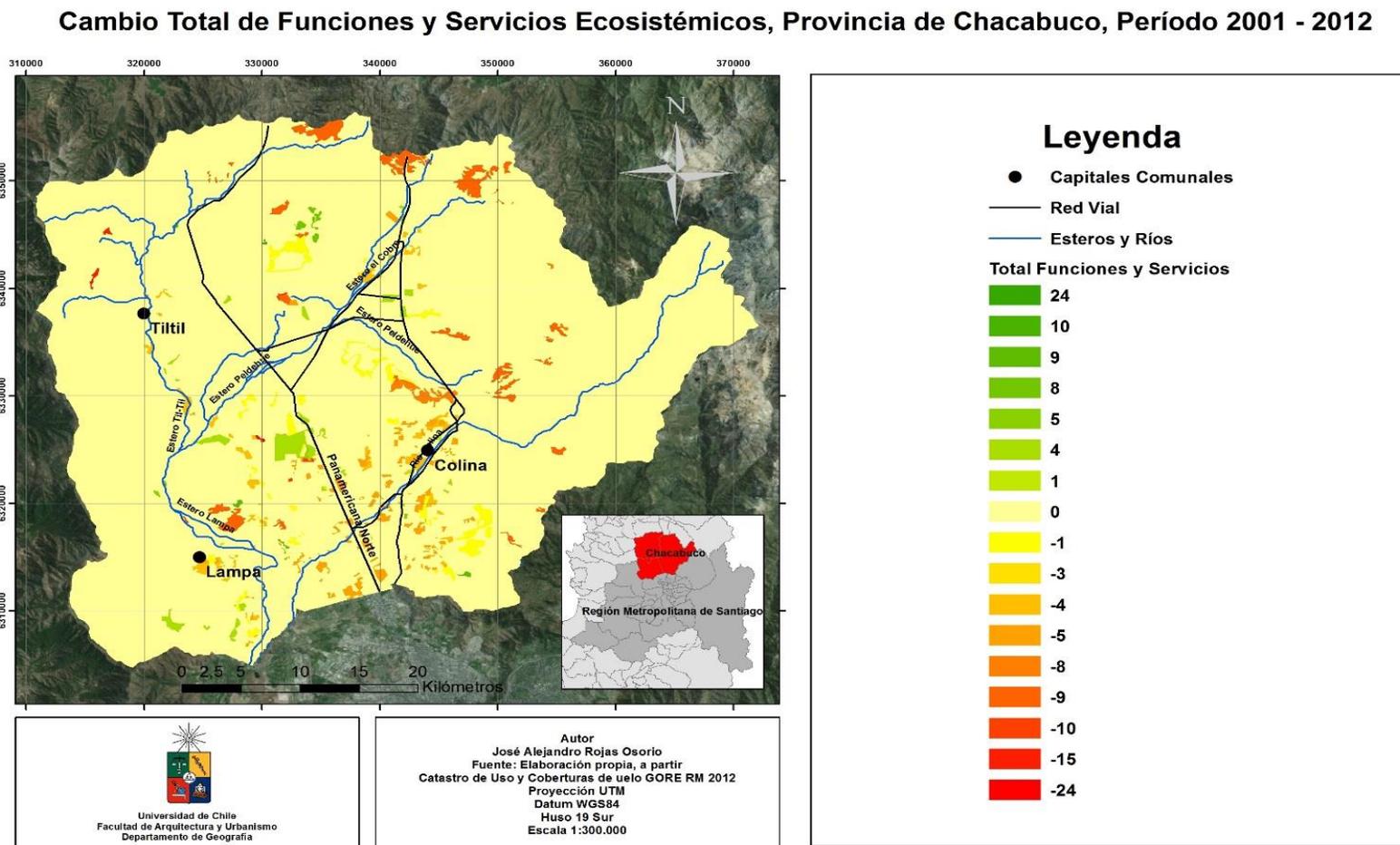
Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Cartografía de Potencial de Funciones y Servicios Ecosistémicos 1992-2001



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34: Cartografía de Potencial de Funciones y Servicios Ecosistémicos 2001-2012



Fuente: Elaboración propia.