



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Geografía

---

**“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 Profesional de Geógrafo

**GINO SANDRO SANDOVAL VERDUGO**

Profesor Guía: Hugo I Romero Aravena.

---

*Santiago – Chile*  
2009

*y vino el temporal y la llovizna  
con su carga de arena y desperdicio  
por ahí paso la muerte tantas veces  
la muerte que enluto a Valparaíso  
y una vez más el viento como siempre  
limpio la cara de este puerto herido.*

*pero este puerto amarra como el hambre  
no se puede vivir sin conocerlo  
no se puede dejar sin que nos falten  
la brea el viento sur los volantines  
el pescador de jaibas que entristece  
nuestro paisaje de la costanera.*

**“Gitano” Rodríguez.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi sincera gratitud y afecto a mis Padres, Hermano, Cuñada, Sobrina, Tía, por su absoluto apoyo y confianza en mí.

Agradezco al Profesor Hugo Romero por su apoyo y consejos durante el desarrollo de la presente memoria y también a Cristián Henríquez por su colaboración y sus importantes aportes a mi investigación.

Agradecer a mis compañeros del Laboratorio Alexis, Alexia, Luisa, Claudio, Marcela, Pamela, Manuel, Carola, así como también a Joselyn y Miguel, por su ayuda y apoyo.

Además también saludar a mis amigos y compañeros de curso: Cristián, Carlos, Héctor, Roberto, Esteban, Sebastián, Pancho, etc., etc. y a todo aquel que se me pueda quedar en el tintero su nombre, gracias totales.

## **RESUMEN**

Las ciudades chilenas de igual forma como varias en el mundo, se encuentran en un fuerte proceso de expansión. Este crecimiento casi incontrolado de las ciudades (Romero *et al.*, 2007), ha ocurrido y ocurre a través del cambio de usos y coberturas de suelos, transformando espacios naturales o seminaturales en urbanos.

Claramente el sistema urbano llamado Gran Valparaíso no se encuentra ajeno a esta dinámica, por lo cual en la presente investigación se estudian las tendencias espaciales de crecimiento y realiza la simulación de escenarios futuros de ocupación del territorio de esta ciudad conformada por la conurbación de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué y Villa Alemana, para los años 2016 y 2025.

Esta conurbación urbana ha experimentado durante los últimos 18 años una fuerte expansión, y se planea agregar alrededor de 10.500 Hás. más al límite urbano, mediante la implementación del PREMVAL (Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso). La consideración de los escenarios futuros debe contemplar este proceso de crecimiento propuesto, como así también la simulación de las situaciones a partir de la consideración del crecimiento histórico o registrado entre los años 1989 y 2007.

El principal objetivo de esta investigación es analizar el proceso de cambio de usos / coberturas de suelos causados por la expansión urbana en el Gran Valparaíso y realizar proyecciones para simular los escenarios de los años 2016 y 2025, con el fin de proporcionar antecedentes que permitan mejorar la planificación urbana, ambiental y territorial.

Para el desarrollo de este estudio se obtuvieron, en primer lugar, las coberturas de uso de suelo de los años 1989, 1998 y 2007 a través de fotointerpretación de Imágenes Satelitales LANDSAT TM. En segundo lugar se determinaron las probabilidades de cambio de los usos de suelo mediante la aplicación del Método de Cadenas de Markov, para proseguir a continuación con la creación de Imágenes de Aptitud Territorial para cada uso y cobertura de suelo. Ambos resultados fueron combinados con el empleo de Automatas Celulares para la simulación de escenarios para los años 2016 – 2025.

Se concluye identificando diferentes tasas de crecimiento para diversos usos urbanos a través de los escenarios simulados, en la medida que se contempla o no la implementación del PREMVAL. Además, se lograron establecer las diferencias en los patrones espaciales y estadísticos resultantes de los distintos escenarios simulados, como así también los alcances en los patrones de reemplazo de las coberturas naturales y seminaturales circundantes.

## **INDICE DE CONTENIDOS**

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN .....	9
1.1 Introducción .....	9
1.2 Planteamiento del problema .....	10
1.3 Área de estudio.....	11
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo General.....	15
1.4.2 Objetivos Específicos .....	15
1.5 Hipótesis.....	15
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO.....	16
2.1 Expansión urbana.....	16
2.2 Cambios de uso y coberturas .....	18
2.3 Modelos de simulación .....	20
2.4 Estudios previos en Chile .....	23
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO .....	25
3.1 Reconocimiento de usos y coberturas .....	25
3.2 Dinámica de cambio de uso y coberturas de los suelos.....	27
3.3 Simulación de cambio de uso y cobertura de suelo .....	28
3.3.1 Cadenas de Markov.....	28
3.3.2 Imágenes de aptitud .....	30
3.3.3 Autómatas Celulares .....	34
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	36
4.1 Expansión Urbana 1989-2007 .....	36
4.2 Cambios de uso y coberturas periodo 1989-2007.....	40
4.3 Cambios de uso y coberturas subperíodos 1989-1998 y 1998-2007.....	46
4.4 Expansión urbana proyectada 2007-2025.....	52
4.5 Cambios de uso y cobertura proyectados.....	61
4.6 Localización de los cambios de usos y coberturas proyectados .....	65
CAPITULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	68
5.1 Discusión.....	68
5.2 Conclusiones .....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	78
Anexo 1 Esquema general de simulación .....	78
Anexo 2 Red vial principal existente. ....	79
Anexo 3 Áreas de restricción y de preferencia agrícola. ....	80

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura N° 1 Área de Estudio. ....	12
Figura N° 2 Zonas de Expansión del PREMVAL en el Gran Valparaíso.....	14
Figura N° 3 Tendencias de crecimiento demográfico urbano mundiales.....	16
Figura N° 4 Patrones de cambios de uso y coberturas de suelo, ciudad de Santiago.....	23
Figura N° 5 Patrones de expansión urbana en la ciudad de Los Ángeles, Chile.....	24
Figura N° 6 Grilla de Fotointerpretación.....	27
Figura N° 7 Módulo Land Change Modeler (LCM).....	28
Figura N° 8 Modulo cadenas de Markov.....	29
Figura N° 9 Modulo Decision Wizard.....	31
Figura N° 10 Ganancias de cada uso (Industrial) en Has y Estandarizado.....	32
Figura N° 11 Modulo CA_MARKOV.....	34
Figura N° 12 Validación simulación mediante el índice Kappa.....	35
Figura N° 13 Expansión urbana entre 1989-2007.....	36
Figura N° 14 Superficie límite urbano construido y tasas de expansión a nivel comunal..	37
Figura N° 15 Mapa de expansión área urbana del Gran Valparaíso.....	39
Figura N° 16 Variaciones de usos y coberturas entre 1989-2007.....	40
Figura N° 17 Porcentajes de participación en las perdidas totales según usos y coberturas, entre 1989-2007.....	41
Figura N° 18 Distribución de cambios según comuna, entre 1989-2007.....	42
Figura N° 19 Mapa Cambios período 1989-2007.....	44
Figura N° 20 Variaciones en subperíodos 1989-1998; 1998-2007.....	47
Figura N° 21 Porcentajes de participación en las perdidas totales según usos y coberturas, subperíodos 1989-1998; 1998-2007.....	49
Figura N° 22 Cambios subperíodos 1989-1998; 1998-2007.....	51
Figura N° 23 Proyección expansión urbana del Gran Valparaíso el año 2025 considerando el crecimiento observado o registro histórico observado entre 1989-2007.....	52
Figura N° 24 Proyección de la expansión urbana del Gran Valparaíso en el año 2025 considerando el crecimiento observado.....	53
Figura N° 25 Proyección de la expansión urbana del Gran Valparaíso considerando la implementación del PREMVAL.....	54
Figura N° 26 Proyección expansión urbana con implementación del PREMVAL.....	55
Figura N° 27 Condiciones de subdivisión predial y de edificación.....	57
Figura N° 28 Crecimiento población y tasas de crecimiento poblacional.....	59
Figura N° 29 Mapa red vial esctructurante propuesta en PREMVAL.....	60
Figura N° 30 Comparación expansión según escenario y comuna.....	61
Figura N° 31 Proyección de la variación de usos y coberturas de los suelos del Gran Valparaíso para el año 2025 a partir de los cambios observados.....	62
Figura N° 32 Proyección de la variación de usos y coberturas en escenario que considera la implementación del PREMVAL al año 2025.....	63
Figura N° 33 Proyección de los porcentajes de participación en las perdidas totales según usos y coberturas y escenarios, entre 2007-2025.....	64
Figura N° 34 Cambios de usos proyectados al año 2025, según escenario.....	67

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Población según comunas y área urbana rural .....	11
Tabla 2 Superficie de zonas propuestas .....	13
Tabla 3 Superficies zonas PREMVAL, según zonas y comuna.....	13
Tabla 4 Tasas de crecimiento de usos urbanos en la comuna de Pudahuel .....	24
Tabla 5 Tipología de Uso y Cobertura .....	25
Tabla 6 Extracto matriz de probabilidad de cambio.....	29
Tabla 7 Uso de Cadenas de Markov .....	29
Tabla 8 Áreas de Transición mediante Cadenas de Markov y según escenario.....	30
Tabla 9 Condiciones de edificación en zonas de expansión propuestas por PREMVAL..	32
Tabla 10 Ocupación de Suelo según Pendiente. ....	33
Tabla 11 Cambios producidos entre 1989-2007.....	46
Tabla 12 Porcentaje de cambios a usos y coberturas urbanas, según comuna. ....	50
Tabla 13 Proyección de cambios de usos de coberturas, según escenarios y comuna, periodo 2007-2025.....	65

## **INDICE DE IMÁGENES**

Imagen 1 Edificaciones de altura, bordemar de Reñaca-Concón.....	43
Imagen 2 Edificaciones de altura norte dunas de Concón .....	45
Imagen 3 Viviendas al este de las dunas de Concón .....	56
Imagen 4 Vista desde Cerro la Cruz hacia el suroeste, Valparaíso.....	66

## **CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN**

### **1.1 Introducción**

La creciente urbanización del territorio chileno ha llevado a que para el año 2002 alrededor del 87% del total de la población se encontraba viviendo en áreas urbanas (INE, 2002). La urbanización no solo ha tenido efectos en el porcentaje de población urbana, sino también, en la expansión física casi incontrolada de las ciudades (Romero *et al*, 2007).

La expansión física es sin duda la prueba más rotunda de la expansión urbana (Romero *et al*, 2007; Henríquez *et al*, 2006b), por lo cual es también un tema de gran interés geográfico (Castro y Brignardello, 1998), debido a sus vertiginosas características y a sus casi irreversibles consecuencias (Romero *et al*, 2003).

Esta expansión física de las ciudades metropolitanas ha ocurrido y ocurrirá a través del proceso de cambios de usos y coberturas de suelos, transformando principalmente espacios naturales o seminaturales en urbanos, tal como lo señala Romero *et al* (2007, p. 17) “La expansión urbana de las ciudades ha adquirido durante los últimos años una gran velocidad y ha comprometido a enormes superficies que previamente estaban cubiertas por cultivos y por vegetación abundante y dispersa”. No existen dudas que este proceso continuará en las próximas décadas, por lo que los planes reguladores de todas las regiones y ciudades del país contemplan extensas áreas de crecimiento.

Es aquí donde aparecen los modelos de simulación de cambio de uso de los suelos y se convierten en una herramienta útil para poder prever los efectos negativos del proceso de expansión urbana sobre el medio ambiente, tal como lo señala Henríquez (2007). El uso de modelos predictivos de cambio de uso del suelo empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota, representa una importante oportunidad para anticipar, prevenir y mitigar dinámicas insostenibles de las actuales formas de crecimiento de las ciudades y del proceso de cambio de usos y coberturas de suelos asociados.

Claramente el sistema urbano del Gran Valparaíso no se encuentra ajeno a esta dinámica, por lo cual esta investigación pretende realizar inicialmente un análisis histórico o retrospectivo de la expansión urbana del Gran Valparaíso entre los años 1989 y 2007, para posteriormente proyectarla en dos escenarios diferentes, siendo uno el realizado solamente con el análisis temporal mencionado y el segundo, que considera la implementación del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL).

La investigación que se presenta a continuación constituye a una memoria para optar al título profesional de Geógrafo en la Escuela de Geografía de la Universidad de Chile y forma parte del Proyecto FONDECYT N° 1080800.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La acelerada expansión urbana es un proceso que se refleja en ciudades de todo el mundo, por lo cual claramente las ciudades chilenas no escapan a este proceso (Azócar *et al*, 2006; Henríquez *et al*, 2006b; Kaya y Curran, 2006; Romero *et al*, 2007; Mahesh Kumar *et al*, 2008). Esta creciente urbanización del territorio chileno ha significado que para el año 2002 alrededor del 87% del total de la población se encuentra viviendo en áreas urbanas (INE, 2002). Este proceso de urbanización no sólo ha tenido efectos en el porcentaje de población urbana, sino también, como ya antes se había mencionado, se ve expresada por el crecimiento físico de las ciudades y el aumento continuo de sus límites urbanos (Henríquez *et al*, 2006b; Romero *et al*, 2007).

Esta expansión urbana se debe a diversas causas, encontrándose asociada, como señala De Mattos (2001), a la nueva fase del desarrollo capitalista, en la cual Chile esta inmerso, proceso de expansión que no es nuevo, sino se encuentra acentuado por dicha fase. De Mattos (2001, p. 36) agrega que “se trata de una tendencia que se materializa en un continuo desborde de los límites urbanos preexistentes, que va incorporando a pueblos y áreas rurales aledaños y dejando a su paso espacios vacíos o semivacíos”.

Esta expansión urbana se produce a través del proceso de cambios de uso y coberturas de suelo, en donde las coberturas naturales y seminaturales son reemplazadas por áreas urbanas (Henríquez *et al*, 2006a y b; Romero *et al*, 2007; Mahesh Kumar *et al*, 2008). Para Weng & Wei (2003 en Britos, A.H. y A.H. Barchuk, 2008) son los cambios de uso y cobertura de suelo los que representan las consecuencias mas claras de la intervención humana sobre el medio ambiente. Por lo cual la expansión urbana, a través del reemplazo de coberturas naturales y seminaturales se constituye en un proceso con características vertiginosas e irreversibles. De esta forma, Romero *et al* (2007, p. 17), señala en el estudio de la expansión de la ciudad de Santiago de Chile que ésta “ha adquirido durante los últimos años una gran velocidad y comprometido a enormes superficies que previamente estaban cubiertas por cultivos y por vegetación abundante y dispersa”. El estudio realizado por Molina (2008) identifica diferencias de expansión en la ciudad de Santiago dependiendo de la densidad de urbanización en términos de sus áreas de reemplazos y tasas de crecimiento.

Numerosos estudios señalan que el monitoreo y análisis del proceso de expansión urbana y sus resultantes conversiones de coberturas naturales y seminaturales se realiza mediante el estudio de los cambio de uso y coberturas de suelo (López *et al*, 2001; Azócar *et al*, 2006; Mahesh Kumar *et al*, 2008).

De la misma forma se señala en la literatura que no basta el monitoreo y análisis retrospectivo de los cambios de uso y cobertura de suelos, sino que es también necesaria la predicción a mediano y largo plazo del crecimiento urbano y sus efectos mediante la aplicación de modelos de simulación de cambios de uso y coberturas de suelo (Henríquez *et al*, 2006a;b; Sudhira *et al*, 2006; Mahesh Kumar *et al*, 2008).

Mahesh Kumar *et al* (2008), señalan que el monitoreo y la proyección de la expansión urbana forma parte de la información básica para la planificación a largo plazo que contemple un desarrollo sustentable en el proceso de cambio de uso y cobertura de suelo, además de contribuir a mejorar la planificación urbana e infraestructura en los planes de desarrollo, mediante la comprensión del fenómeno de expansión urbana.

Aguayo *et al.* (2006) y Henríquez *et al.* (2006), mencionan a estos modelos de simulación de cambio de uso como una poderosa herramienta de análisis espacial, la cual se encuentra principalmente destinada a explorar las variables que los determinan, así como proyectar y mitigar sus potenciales impactos ambientales.

El sistema urbano Gran Valparaíso claramente no se encuentra ajeno a la dinámica de expansión de las superficies urbanas y su resultante proceso de cambio de usos y coberturas de suelo asociado, por lo cual el presente estudio pretende realizar un análisis retrospectivo y de proyección de sus escenarios futuros.

### 1.3 Área de estudio

El sistema urbano Gran Valparaíso, se ubica en la provincia de Valparaíso y en la región del mismo nombre. El Gran Valparaíso es una conurbación que se encuentra constituido por las ciudades de Concón, Quilpué, Valparaíso, Villa Alemana y Viña del Mar. Esta se localiza en la zona central de Chile y se extiende entre los 32 y 34° de latitud sur y los 70 y 71° de Longitud Oeste (figura N° 1).

La superficie urbana construida<sup>1</sup> del Gran Valparaíso para el año 2007 alcanzaba alrededor de 14.660 Has., con una población para el censo 2002 de 845.417 habitantes (suma de los habitantes de las cinco comunas), y según proyecciones del INE para el año 2009, el total de los habitantes alcanzaría los 899.840 habitantes.

La distribución de la población según comunas y área urbano-rural (tabla 1) indica que se encuentra principalmente localizada en áreas urbanas, sobrepasando el 97%, y llegando a ser el 100% en la comuna de Viña del Mar.

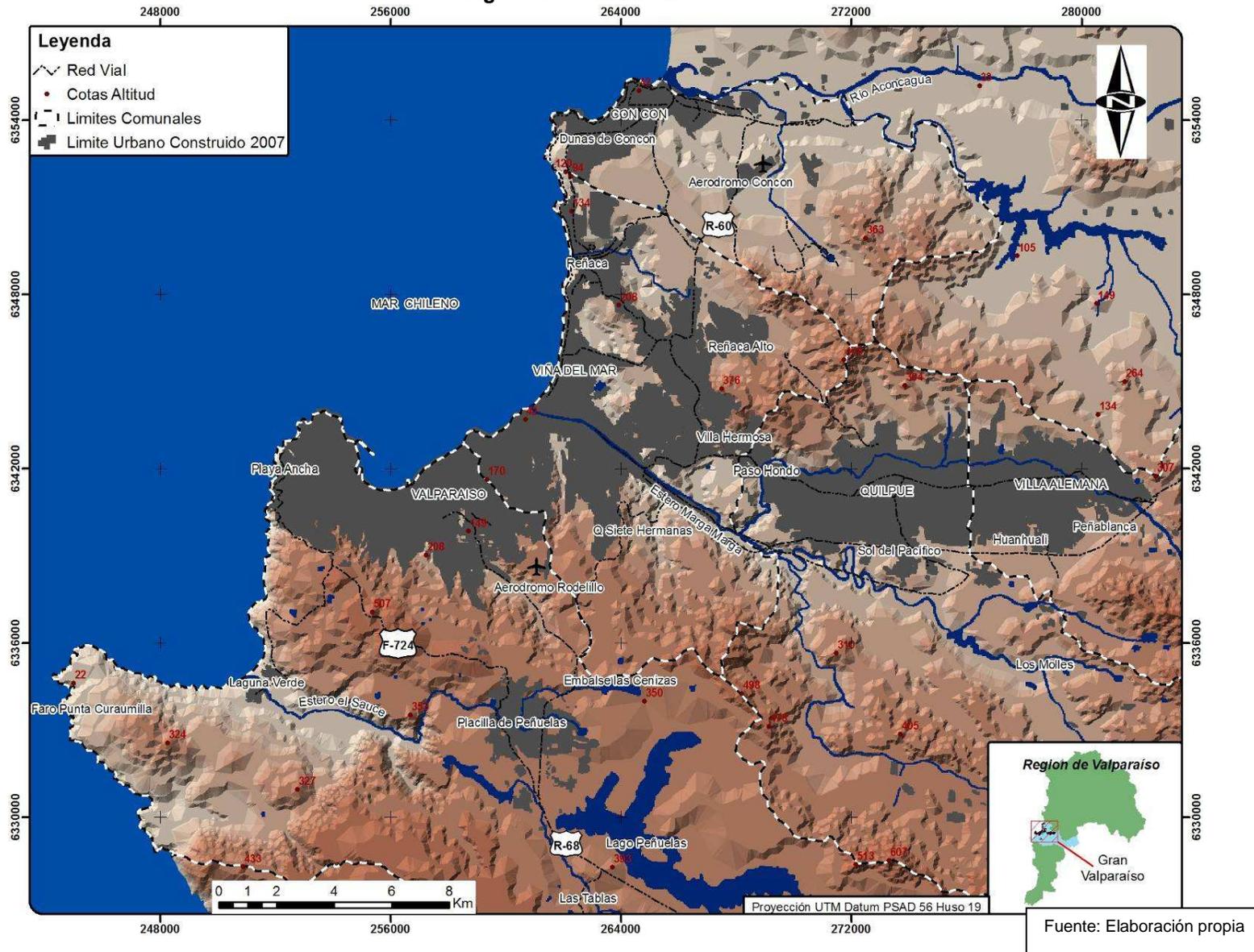
**Tabla 1 Población según comunas y área urbana rural**

Comuna	Total	Urbana		Rural	
		Hab.	%	Hab.	%
Concón	32.273	31.558	97,78	715	2,22
Quilpue	128.578	126.893	98,69	1.685	1,31
Valparaiso	275.982	275.141	99,70	841	0,30
Villa Alemana	95.623	94.802	99,14	821	0,86
Viña del Mar	286.931	286.931	100,00	0	0,00

Fuente: Elaboración propia en base a INE. 2002.

<sup>1</sup> La superficie urbana construida es el área urbana (ya sea residencial – comercial – industrial - etc.) fotointerpretada sobre imágenes Landsat TM.

Figura Nº 1 Área de Estudio.



En febrero del año 2009, el Consejo Regional (CORE) de Valparaíso, aprobó por 19 votos a favor la modificación al Plan Intercomunal de Valparaíso en su área metropolitana y satélite borde costero Quintero-Puchuncavi. Se entiende como Área Metropolitana de Valparaíso las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué, Villa Alemana y Casablanca y como Satélite Borde Costero la comuna de Quintero y la parte sur de la comuna de Puchuncavi. Esta modificación es también llamada PREMVAL sigla que significa Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso.

El PREMVAL plantea la extensión urbana (residencial-comercial-productiva) del área urbana del Área Metropolitana de Valparaíso y el Satélite Borde Costero Quintero-Puchuncavi en 23.748 Has. (tabla 2).

**Tabla 2 Superficie de zonas propuestas**

Tipo Zona según PREMVAL	Has
Zona Urbana	19.831
Zona Expansión Urbana	19.423
Zona Expansión Productiva	4.325
Zonas Protegidas	103.698
Zona Rural	101.033

Fuente: Elaboración propia en base a PREMVAL, 2009.

Para el Gran Valparaíso, área de estudio de la presente investigación, el PREMVAL contempla el 50% de áreas de expansión urbana del plan y un 21% de expansión de zonas productivas (tabla 3), concentrándose esta expansión en la comuna de Valparaíso principalmente.

**Tabla 3 Superficies zonas PREMVAL, según zonas y comuna**

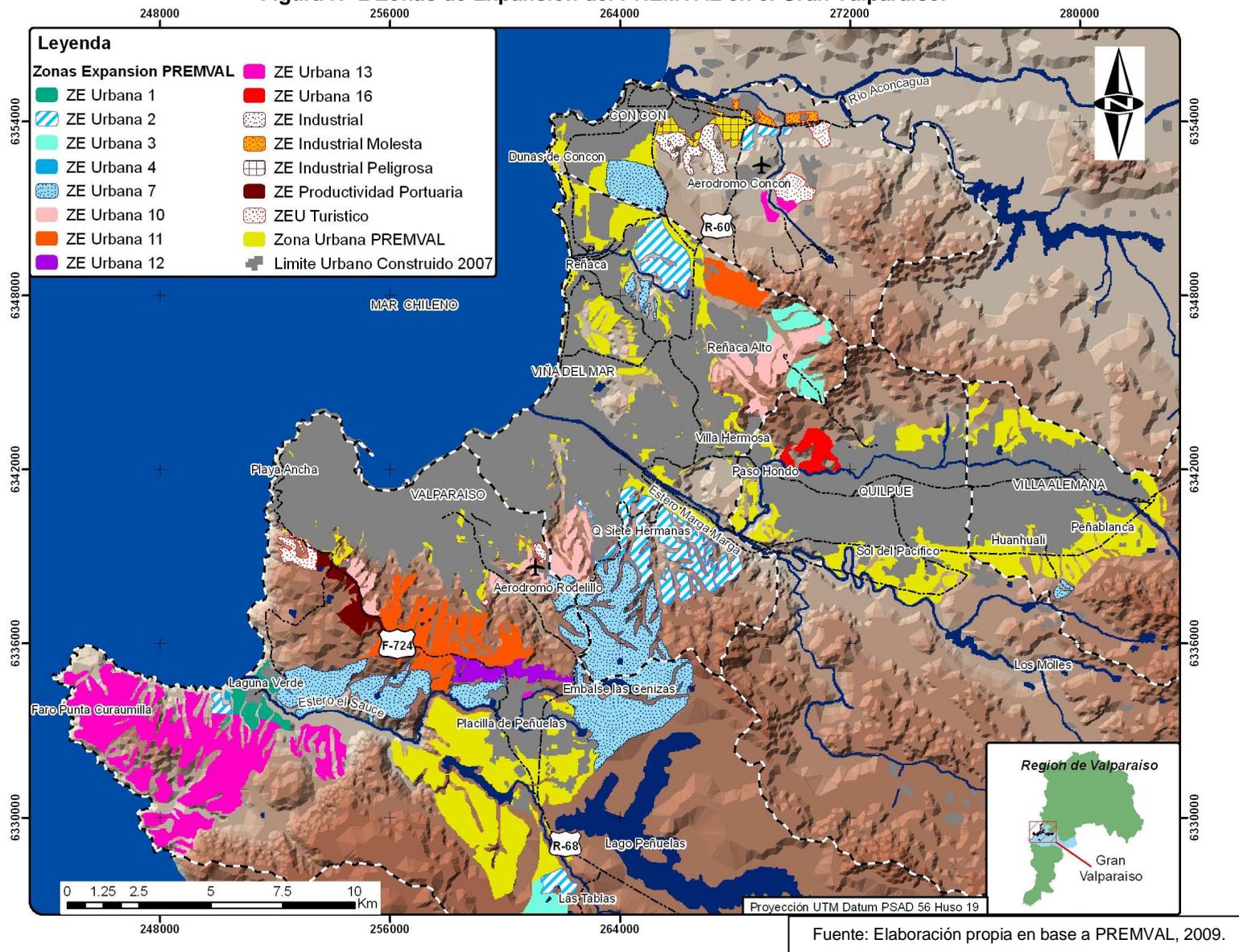
Comuna	Superficie de extensión urbana	Superficie de extensión productiva	Superficie de áreas protegidas*	Superficie Rural	Superficie Comunal
Valparaíso	5.920	186	18.281	9.768	40.160
Viña del Mar	2.650	237	4.395	0	12.160
Concón	653	503	5.217	410	7.600
Quilpue	456	0	20.196	29.599	53.690
Villa Alemana	33	0	4.439	1.981	9.650

\*Incluye zona preferentemente agrícola.

Fuente: Elaboración propia en base a PREMVAL, 2009.

La propuesta de expansión del PREMVAL en el Gran Valparaíso consta de 14 zonas de expansión de las cuales 9 son residenciales, comerciales y de infraestructura – etc.; 4 exclusivamente industrial y una de carácter turístico (figura N° 2), teniendo características específicas de construcción que se pueden observar en la tabla 9 dentro del subcapítulo 3.3.2.

Figura Nº 2 Zonas de Expansión del PREMVAL en el Gran Valparaíso.



## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar el proceso de cambio de uso y cobertura de suelo causado por la urbanización en el Gran Valparaíso, su evolución entre los años 1989 - 2007 y sus escenarios futuros para los años 2016 y 2025.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la dinámica y patrones espaciales de los cambios de usos y coberturas de suelos entre los años 1989 y 2007.
- Proyectar el proceso y los patrones espaciales de cambio de uso y cobertura de los suelos para los años 2016 y 2025.
- Diferenciar los patrones y secuencias de cambio de uso y cobertura de suelo, entre los escenarios para los años 2016 y 2025 que contemplen la implementación del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL), como así también escenarios proyectados sobre la base de lo observado y registrado entre los años 1989 y 2007.

## **1.5 Hipótesis**

“El proceso de expansión física de los usos de suelo urbanos presenta marcadas diferencias en los patrones de reemplazo según se trate de urbanización de alta y baja Densidad”.

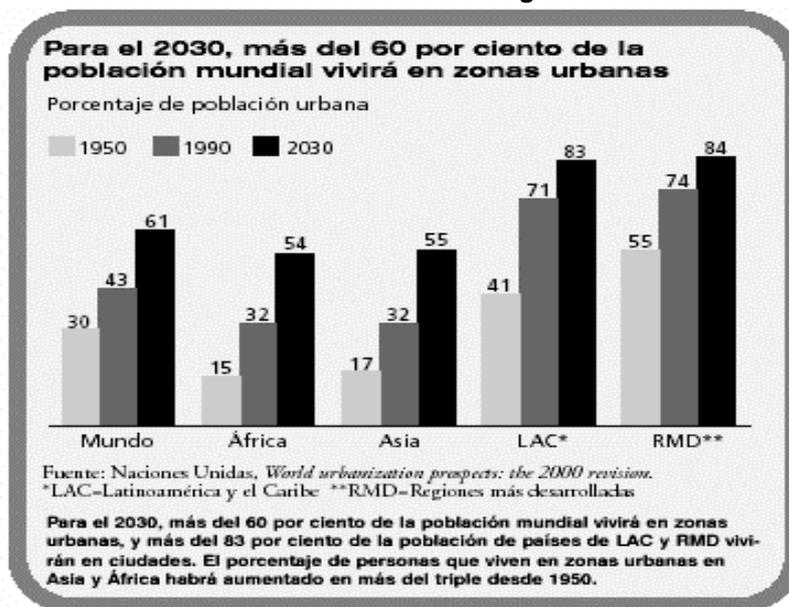
“En los escenarios proyectados la urbanización de baja densidad se consolida como la mayor causa de pérdidas en la cobertura de vegetación densa en los escenarios que consideran la implementación del PREMVAL”.

## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

### 2.1 Expansión urbana

Según estimaciones de las Naciones Unidas alrededor de la mitad de la población mundial vive en las ciudades y sus proyecciones indican un aumento, siendo Latinoamérica una de las regiones que para el año 2030 alcanzaría más del 80 % de su población viviendo en áreas urbanas (figura N° 3).

Figura N° 3 Tendencias de crecimiento demográfico urbano mundiales.



Fuente: Naciones Unidas, 2008.

Este proceso de urbanización demuestra lo que señalan varios autores, dentro de ellos Romero *et al*, (2007), que indica que la ciudad se ha transformado en el principal nicho ecológico de la humanidad. Azócar *et al* (2003, p. 80) ratifica a la ciudad como “el hábitat humano por excelencia, donde el crecimiento acelerado de las ciudades, tanto en habitantes como en extensión de su superficie, son fenómenos globales que así lo demuestran”.

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), como así también Sudhira *et al* (2004), confirmando que el proceso de urbanización es universal. Todos los países experimentan este fenómeno debido al crecimiento de su población, economía e infraestructura.

La literatura señala que la expansión urbana es el resultado tanto de factores internos como externos de la ciudad, así como también factores locales y regionales. Es así como Henríquez *et al* (2006a) afirma que son varios los factores que conducen el crecimiento urbano acelerado, dentro de los cuales menciona la falta de oportunidades para el

desarrollo rural, la emigración de la población hacia las ciudades, las altas tasa de crecimiento natural de la población urbana, la economía de mercado que promueve la urbanización y las economías de aglomeración y concentración espacial para consumir bienes y servicios.

Según De Mattos (2001, p. 35), esta expansión urbana es la principal característica de la reactivación de las ciudades en la economía de mercado actual. La expansión urbana o metropolización expandida, tiene como rasgo principal “la incontrolable acentuación de la tendencia al derrame territorial de la mancha urbana”, fenómeno asociado a los procesos de suburbanización y/o periurbanización.

En relación a los patrones de expansión urbana, el conjunto relacionado de factores internos y externos puede desencadenar variadas formas de crecimiento urbano, como lo señala Romero (2001) en Molina (2007): el crecimiento “radial” o también llamado “acreción por adherencia” de nuevas áreas urbanas sobre la periferia de la ciudad, tendiendo a ampliar la ciudad aprovechando las economías de aglomeración y extendiendo espacios sociales de igual nivel; el crecimiento “tentacular”, el cual se desarrolla a través de los principales ejes de transporte, aprovecha la accesibilidad y conectividad y está fuertemente influido por los medios de transporte, y finalmente el crecimiento tipo “salto de rana”, aparición de superficies construidas que se originan como nuevas urbanizaciones, fuera del límite urbano compacto, debido a un recurso de interés en el área donde se establecen. Este último patrón se relaciona con la ocupación de áreas aisladas por quienes pueden pagar por la distancia o bien entre quienes ocupan ilegalmente las tierras más baratas y alejadas de los centros urbanos.

El crecimiento tipo “salto de rana” ha adquirido una alta importancia los últimos años en Latinoamérica, a través de la instalación de megaproyectos de urbanización fuera de la mancha urbana, como señala Hidalgo *et al* (2007b). Estos megaproyectos rompen con cualquier tradición urbana en Latinoamérica y pueden ser considerados como secuelas de la globalización, con manifestaciones particulares en cada uno de los países donde se han materializado.

Además la literatura agrega que esta expansión incontrolada se ve facilitada por la eliminación sistemática de las restricciones al crecimiento espacial de las ciudades, que ha tenido lugar a través de cambios en los principios y formas de los instrumentos territoriales, como los planes reguladores comunales e intercomunales (Romero y Vásquez, 2005b).

En la literatura existe una aceptación de que este acelerado crecimiento urbano en América Latina y sobretodo en Chile está profundamente arraigado en el modelo económico actual, el cual al desregularizar el territorio y el espacio urbano y reducir las funciones del Estado en el ejercicio de la planificación a todo nivel, deja en manos de privados la planificación y la toma de decisiones (Hidalgo *et al.*, 2007a y b). La desregulación y el repliegue del Estado de sus funciones de control y planificación, ha permitido avanzar en la formación de un sector inmobiliario completamente globalizado, libre de las influencias estatales o de los intereses de instituciones nacionales. Ello se ha debido, según el mismo Hidalgo *et al* (2007a) a la globalización y la orientación de la economía a modelos neoliberales, correspondiendo al mecanismo más profundo del proceso de transformación latinoamericana.

A esto se le suma lo señalado por Henríquez *et al* (2006a) e Hidalgo *et al* (2007a y b) en el sentido que los principios neoliberales fueron rápidamente incorporados a la planificación urbana chilena, como lo indica el hecho que el mercado del suelo fuera liberalizado en 1979, significando que a partir de la primera mitad del decenio de los 80, el recurso suelo fuera reconocido como un recurso no escaso, y que su valor podía ser determinado libremente por las fuerzas del mercado. Si bien estos conceptos que reconocían al suelo como un recurso no escaso en la Política Nacional de Desarrollo Urbano de 1979 fueron modificados en el año 1985, devolviendo el carácter de recurso escaso al suelo urbano, aunque Contreras (2009) indica que esta última modificación a la política no ha tenido repercusiones en la práctica, debido básicamente a lo poco claro de la política de desarrollo urbano nacional. De Mattos, (2001) e Hidalgo *et al*, (2007 a y b) señalan como las repercusiones mas claras de la implementación del sistema neoliberal contemplan a la sustitución del Estado como un ente regulador del mercado de suelo, pasando este rol a agentes privados. De Mattos (2001, p. 36) afirma que “las tendencias observadas en esta nueva fase del desarrollo capitalista, avalan la conclusión de que en la mayor parte de las economías emergentes latinoamericanas se está produciendo una reactivación del crecimiento y la expansión de sus principales aglomeraciones metropolitanas bajo los efectos combinados de la reestructuración y de la globalización”.

Este proceso y modo de expansión urbana provoca un abandono por la protección de las tierras agrícolas, silvoagropecuarias o destinadas a la conservación de la naturaleza, bosques y áreas naturales (Romero y Vásquez, 2005b; Henríquez *et al*, 2006a).

## **2.2 Cambios de uso y coberturas**

En la literatura existe un gran numero de estudios sobre los cambios de uso y coberturas de suelo y su variación en el tiempo, los cuales han tenido un gran desarrollo, debido a la proliferación y masificación del empleo de los Sistemas de Información Geográfica, conjuntamente con la utilización de sensores remotos (Bocco *et al*, 2001; Mas y Fernández, 2003; Sudhira *et al*, 2004).

El gran interés que despierta el estudio de cambios de uso y cobertura de suelo, está dado por diversos motivos. Dentro de la literatura se encuentran razones que aluden a que constituyen la expresión espacial más evidente de las actividades humana sobre los sistemas de soporte (Turner y Meyer, 1991; Romero *et al*, 2007; Aldana y Bosque Sendra, 2008). De la misma forma, son considerados como una de las causas de la degradación ambiental y pérdida de funciones y servicios ambientales en los territorios donde ocurren estos procesos (Mendoza *et al*, 2002; Pauleit *et al*, 2005; Romero y Vásquez, 2005a; Henríquez *et al*, 2006b; López y Bocco, 2006; Romero *et al*, 2007).

Debido a ello, Bocco *et al.*, (2001), Henríquez *et al.*, (2006), López y Bocco (2006), Henríquez y Azócar (2007) y Aldana y Bosque Sendra (2008), colocan a los estudios sobre cambios de usos y coberturas de suelo como una información necesaria para la planificación del territorio, debido a su capacidad de reflejar patrones espaciales y temporales como **emplazamiento, distribución, estructura y dirección**.

En los estudios de cambios de uso y cobertura existen básicamente dos términos para su caracterización, siendo el primero el de **conversión o reemplazo**, el cual es el concepto utilizado en esta investigación y describe el cambio de un tipo de cubierta por otro, mientras la **modificación o transformación** es cuando no se operan cambios de

categoría pero si se detecta algún nivel de afectación en uno o varios atributos de una cobertura (Aldana y Bosque Sendra, 2008). Se debe entender como cobertura todo aquello que cubre la superficie del suelo, que puede originarse a partir de ambientes naturales o de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre, mientras que los usos de suelo expresan el destino o uso humano del territorio (López, 2004; López y Bocco, 2006; Aldana y Bosque Sendra, 2008; Fuentes, 2009).

Bajo la acepción recién mencionada, varios autores entre ellos Lambin *et al* (2001) y Aldana y Bosque Sendra (2008) señalan a los cambios de uso y cobertura como la conversión ocurrida en una unidad espacial, que es producto de un proceso dinámico que refleja una secuencia de decisiones tomadas por los usuarios de la tierra (Walker, 2003 en Aldana y Bosque Sendra, 2008).

Este gran interés en el estudio de los cambios de uso y cobertura de suelo ha llevado a generar proyectos a nivel internacional que registren, identifiquen y sistematicen los cambios de uso y cobertura de suelo producidos en el territorio. Uno de estos proyectos es 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. Luego aparecieron proyectos relacionados, como Land Cover, cuyo objetivo era proporcionar información localizada geográficamente sobre los usos y coberturas del suelo de los estados miembros de la Unión Europea. De este modo, se pretendía que esta información, básica para el control medioambiental, fuera homogénea para toda la comunidad.

Además se puede encontrar 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 el LACOST (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 (Ezquerria *et al*, 1998, p. 202).

Mientras 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. Se tiene programada su evaluación inicial de 30 años en el año 2010 y proporcionará una base para predecir los impactos del cambio de uso y cobertura de suelo en escenarios futuros (USGS, 2009).

En la literatura se señala a la expansión física de las ciudades como uno de los mayores causantes de los cambios de uso y cobertura de los suelos. Según Henríquez *et al* (2006b), Romero y Vásquez (2005a y b) y Mahesh Kumar *et al* (2008), ésta conduce a un cambio en el patrón de uso/cobertura de las tierras, transformando espacios naturales o

seminaturales en urbanos. Además Whitford *et al* (2001), Romero *et al* (2003) y Pauleit *et al.* (2004), señalan que la expansión urbana es la perturbación ambiental más drástica, rápida e irreversible sobre el medio ambiente, que ocurre mediante una serie de cambios de usos y coberturas naturales o seminaturales por usos y coberturas urbanas.

De la misma forma López *et al* (2001) y Molina (2007) señalan a los cambios de usos y coberturas del suelo como procesos considerablemente dinámicos y continuos en ciudades en proceso de expansión y en las zonas que comprenden sus áreas metropolitanas.

La expansión urbana y los cambios de uso y cobertura de suelo asociados tienen diferentes efectos sobre el medio ambiente. 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) plantean algunos principales efectos tales 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 Modelos de simulación**

Según autores como Pontius y Malanson (2005), Henríquez *et al*, (2006b) y Aguilera *et al*, (2006), los modelos de simulación de cambios de usos y coberturas de los suelos se han vuelto cada vez una herramienta mas ocupada y útil en el análisis espacial de sus patrones y sus potenciales efectos negativos sobre el territorio. No obstante, Henríquez y Azócar (2007) señalan la falta de aplicaciones de estos modelos de simulación a ciudades latinoamericanas.

Estos modelos de simulación, que son una representación de un componente o proceso de la realidad (Henríquez y Azócar, 2007), son considerados por diversos autores (Henríquez *et al*, 2006b, Henríquez y Azócar, 2007, Batty *et al*, 2005, en Henríquez y Azócar, 2007) como modelos dinámicos capaces de pronosticar posibles comportamientos futuros. Henríquez *et al.*, (2006b) señalan la potencialidad de representar la **magnitud** de los cambios, su **localización** a futuro y sus **patrones espaciales**.

Primordialmente, según la literatura, estos modelos utilizan parámetros simples para las simulaciones, donde incluyen la extensión de las actuales áreas urbanas, las principales vías de transporte, la distancia a los mercados de trabajo, bienes e insumos, las condiciones topográficas, la existencia de tierras en situación especial (Henríquez y Azócar, 2007).

Para Henríquez *et al*, (2006), la elaboración de diversos escenarios de expansión urbana, mediante estos modelos de simulación, genera un gran aporte al avance en la investigación de los cambios de uso y coberturas de suelo. No obstante, Batisani y Yarnal (en prensas) añaden que la simulación de la expansión urbana genera una incertidumbre característica, la cual no se puede menospreciar. Esta incertidumbre puede ser atribuida a errores en los parámetros incluidos y a las limitaciones en la comprensión del sistema de uso de suelo actual o futuro.

En la literatura se identifican básicamente dos tipos de modelos de simulación de cambio de uso y cobertura de suelo (Paegelow *et al*, 2003; Sudhira *et al*, 2004; Henríquez *et al* 2006b), que están basados en modelos estadísticos de regresiones, que utilizan técnicas de regresión espacial logística principalmente, para analizar los patrones de crecimiento urbano y modelar subsecuentemente el crecimiento de las ciudades, y modelos basados en transiciones espaciales (Henríquez *et al*, 2006b), dentro de los cuales destaca la utilización de métodos estocásticos como Cadenas de Markov y Autómatas Celulares (Jenerette y Wu, 2001; Pontius y Malanson, 2005; Henríquez *et al*, 2006b), los cuales han sido integrado y complementados con la confección de imágenes de aptitud mediante una Evaluación Multicriterio (Pontius y Malanson, 2005; Henríquez *et al* 2006b), Estos modelos por separado presentan limitaciones debido a que fallan en interactuar con los factores causales que dirigen el crecimiento urbano tales como el crecimiento de población, la disponibilidad de tierra, y la proximidad a los centros de la ciudad y las carreteras (Sudhira *et al*, 2004).

El modelamiento del crecimiento urbano a través de Autómatas Celulares ha tenido un progresivo desarrollo. Son cada vez más los modelos de cambio de uso de suelo basado en este método (Sudhira *et al*, 2004; Aguilera *et al*, 2006). Esta herramienta matemática compleja, fue desarrollada por John Von Neuman y Stanislaw Ulam, y es mundialmente conocida gracias al popular *Game of life*, publicado en 1970 por John Conway (Aguilera *et al*, 2006).

Diversos autores que han realizado modelos basados en Autómatas Celulares, señalan que éstos son capaces de modelar dinámicas espaciales, reproduciendo patrones complejos, tales como los que se manifiestan en las ciudades (Sudhira *et al*, 2004; Fuentes y González, 2005; Aguilera *et al*, 2006; Henríquez *et al*, 2006b). Los Autómatas Celulares reproducen estas dinámicas espaciales en base a reglas simples, como son la representación de los usos en celdas, la influencia de celdas vecinas, como también reglas de transición, que están en relación con accesibilidad, transición potencial de cada celda, entre otras (Barredo *et al*, 2003; Henríquez *et al* 2006b).

Este método estocástico ha presentado mejores resultados, en comparación con métodos de regresión, en la simulación de escenarios de crecimiento urbano que consideran el proceso "salto de rana". Además incluye de mejor manera variables físicas y sociales que modelos basado en regresión logística (Aguilera *et al* 2006; Hu y C.P. 2007); también tiene mejores cualidades que el Modelo de Regresión Logística porque puede simular varias categorías a la vez y recoge el carácter estocástico del uso del suelo urbano (Pontius y Malanson, 2005; Henríquez y Azócar, 2007).

Debido a los favorables resultados obtenidos y al progresivo aumento de interesados en simular cambio de uso y cobertura de suelo con modelos basados en autómatas celulares, se han elaborado numerosos modelos de simulación. Entre otros se encuentra el SLEUTH (**S**lope, **L**and cover, **E**xclusion, **U**rbanization, **T**ransportation, and **H**illshade)

desarrollado por el USGS; el DUEM creado por la University College London (UCL) Centre For Advanced Spatial Analysis de Gran Bretaña; el CA\_Markov (Celular Automatas y Cadenas de Markov) desarrollado en el Software IDRISI; y DINAMICA, elaborado y desarrollado en Brasil por el Centro de Sensoriamento Remoto de la Universidad de Federal de Minas Gerais (Henríquez y Azócar, 2007).

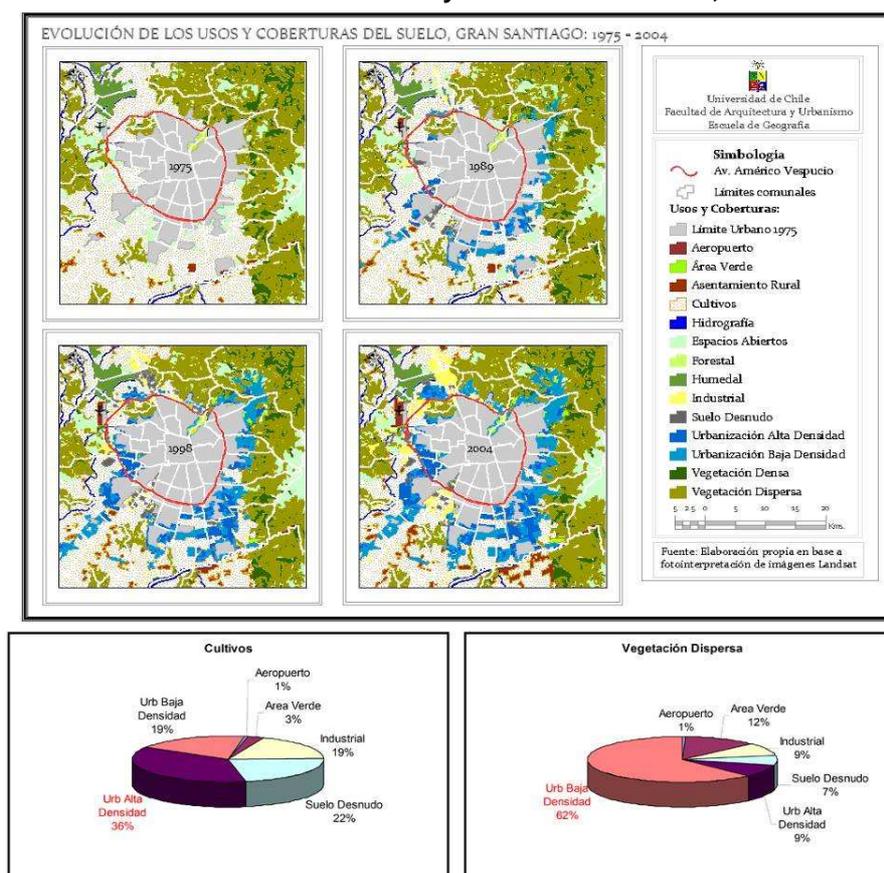
Como ya se había mencionado, el método de Autómatas Celulares ha sido integrado conjuntamente con Cadenas de Markov y Evaluación Multicriterio en diversos modelos de simulación de cambio de uso y cobertura de suelo (Jenerette y Wu, 2001; Pontius y Malanson, 2005; Henríquez *et al*, 2006a;b ; Henríquez y Azócar, 2007), obteniendo buenos resultados para la simulación en Arizona-Phoenix y Massachussets en EE.UU. y Chillan y Los Ángeles en Chile, respectivamente, en parámetros de validación y proyección. Además, Pontius y Malanson (2005) señalan que este modelo tiene la habilidad de simular cualquier transición entre un número de categorías, lo que permite considerar en forma simultánea y conjuntamente distintos usos de suelo entre un periodo y otro.

En este tipo de modelos, las Cadenas de Markov son utilizadas para estimar las probabilidades de que un uso de suelo determinado cambie en un periodo dado a otro uso de suelo (Paegelow *et al*, 2003), mientras que el manejo de la Evaluación Multicriterio entrega un apoyo a la modelación espacial, conjuntamente con las reglas de espacialización de los Autómatas Celulares. En resumen, las Cadenas de Markov entregan las probabilidades de cambio, mientras que la Evaluación Multicriterio y los Autómatas Celulares espacializan dichas probabilidades.

## 2.4 Estudios previos en Chile

Molina (2007) determinó dos patrones generales de cambios de uso y cobertura de suelo en el Área Metropolitana de Santiago entre el período 1975-2004, indicando que el avance de la urbanización de baja densidad tiene dirección hacia el oriente de la capital, reemplazando principalmente coberturas de vegetación natural, mientras que la urbanización de alta densidad se presenta con dirección oeste y sur y reemplaza primordialmente cultivos (figura N° 4).

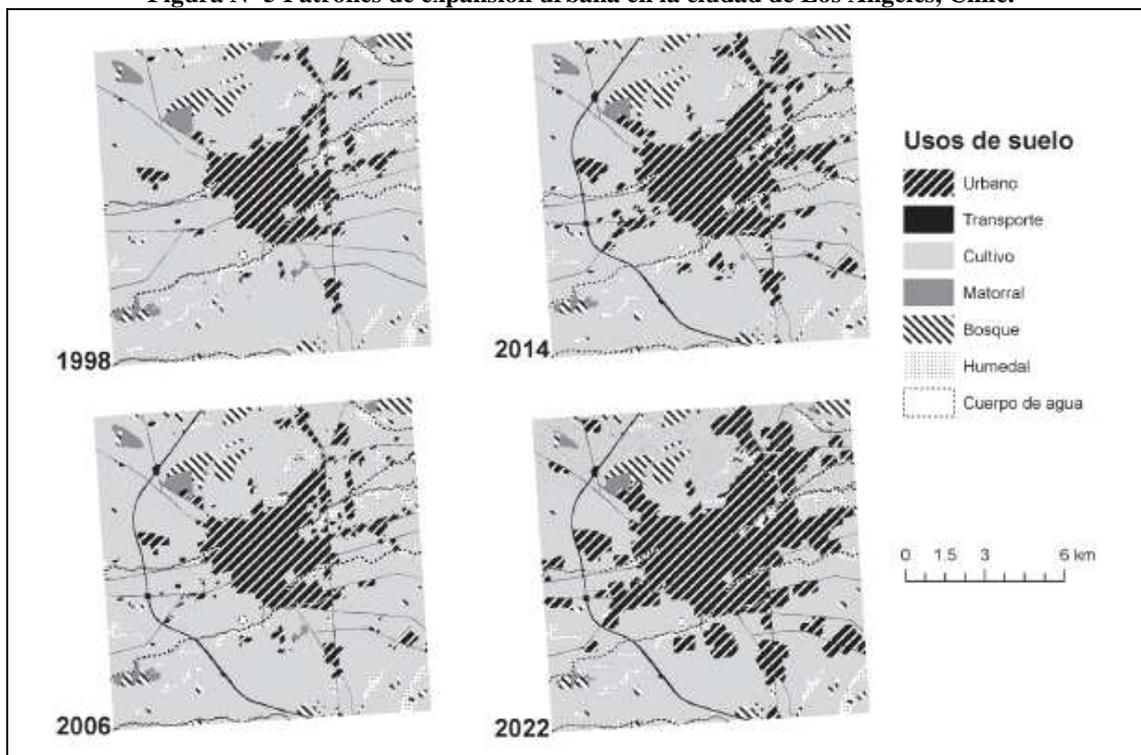
Figura N° 4 Patrones de cambios de uso y coberturas de suelo, ciudad de Santiago.



Fuente: Molina, 2008.

Henríquez *et al* (2006b) estimó un crecimiento de 504 Há. en la proyección de escenarios futuros posibles en el área de la ciudad de Los Ángeles para el año 2014 a partir de lo observado el año 2006, mientras que para el escenario del año 2022, estimó un crecimiento de alrededor de 1.846 has, lo cual implicaría una variación de un 81,4 % entre 2006-2022, concentrándose esta expansión urbana principalmente en el sector oriente de la ciudad (figura N° 5).

Figura N° 5 Patrones de expansión urbana en la ciudad de Los Ángeles, Chile.



Fuente: Henríquez *et al*, 2006b.

Vásquez *et al* (2008) en la simulación de escenarios futuros para la comuna de Pudahuel de la ciudad de Santiago, estimaron que en el escenario futuro para el año 2016, que contempla la implementación de los llamados Proyectos de Desarrollo Urbano Condicionado (PDUC), la tasa de crecimiento de los usos urbanos dobla a la del escenario futuro del mismo 2016 pero que no incluye la implementación de los PDUC (Tabla 4).

Tabla 4 Tasas de crecimiento de usos urbanos en la comuna de Pudahuel

Sin implementación PDUC			Con implementación PDUC		
Año	Área	Tasas (has x año)	Año	Área	Tasas (has x año)
1989	1084,5		1989	1084,5	
1998	2289,2	133,9	1998	2289,2	133,9
2007	3814,5	169,5	2007	3814,5	169,5
<b>2016</b>	<b>5189,2</b>	<b>152,7</b>	<b>2016</b>	<b>6549,3</b>	<b>303,9</b>
2025	6.128,6	104,4	2025	7.509,4	106,7

Fuente: Vásquez *et al*, 2008.

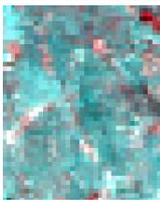
Castro y Brignardello (1998), concluyeron en el estudio del metabolismo y estructuración urbana del Gran Valparaíso, que el desarrollo urbano ha tenido una ocupación intensiva del borde costero entre Concón y Valparaíso, eliminando áreas naturales que cumplen diversas funciones tanto sociales como ambientales, agregando que este proceso se encuentra asociado a una presión antrópica temporal, con características turísticas, especialmente en el período estival, lo cual ha generado un fuerte deterioro del medio y una disminución del nivel de vida de la población residente permanente.

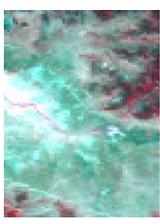
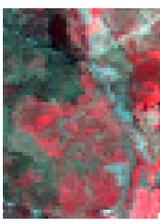
## CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Reconocimiento de usos y coberturas

Para el reconocimiento de los usos y coberturas de los suelos del área de estudio, primero se confeccionó una tipología de Usos y Coberturas de Suelo (Tabla 5), basada en los estudios de Romero (2006) y Moscoso (2007). Los usos de suelo están definidos por la función humana que se da a éstas áreas, mientras que las coberturas de suelo corresponden a las características físicas de tales superficies (Pauleit *et al*, 2005).

**Tabla 5 Tipología de Uso y Cobertura**

Uso / cobertura	Criterios de identificación	Visualización
<p><b>Aeropuerto</b> Edificaciones correspondientes al tráfico de aviones comerciales y particulares</p>	<p>Forma y ubicación: Delimitación de aeropuerto por pistas de aterrizaje y torre terminal (contornos rectos)</p>	
<p><b>Puerto</b> Área urbana ubicada en la costa, correspondiente al tráfico de embarcaciones.</p>	<p>Forma y ubicación. Ubicado en zonas costeras y principalmente formas paralelas a línea de costeras con prolongaciones hacia el mar.</p>	
<p><b>Industrial</b> Superficie artificial sin vegetación que ocupe la mayoría del área; contiene grandes construcciones. fábricas e instalaciones antrópicas (como viveros) que tienen relación con el procesamiento de alguna materia prima</p>	<p>Color de píxeles y forma en su agrupación, que dan origen a polígonos principalmente rectangulares de mucho brillo, en imagen satelital demuestran alta reflectancia, generando colores blancos, azulados o grises, claros y brillantes en imagen de Color Verdadero.</p>	
<p><b>Urbanización de Baja Densidad</b> La superficie construida posee espacios entre una edificación y otra.</p>	<p>Heterogeneidad cromática. Se agrupan píxeles de distintas tonalidades: En imagen Color Verdadero los colores son claros y opacos, distinguiéndose el celeste, gris y blancos, aunque en ciertas oportunidades se pueden distinguir algunas de color verde</p>	
<p><b>Urbanización de Alta Densidad</b> La superficie construida no posee espacios entre una edificación y otra.</p>	<p>Heterogeneidad cromática. Se agrupan píxeles de distintas tonalidades: En imagen Color Verdadero los colores son claros y opacos, distinguiéndose el celeste, gris y blancos, aunque en ciertas oportunidades se pueden distinguir algunas de color verde. En imagen Falso Color los</p>	

Uso / cobertura	Criterios de identificación	Visualización
	colores son claro y opacos, distinguiéndose el celeste, gris y blanco, aunque en ciertas oportunidades se pueden distinguir algunas de color rojo opaco.	
<p><b>Cultivos</b> Extensiones plantadas con viñas u otros cultivos. Actividad primaria llevada a cabo en el área rural y en algunos casos dentro del continuo urbano.</p>	<p>Por color, forma y textura. Color: en Falso Color corresponden a áreas rojizas fuertes fuera del área urbana y en Color Verdadero: verde, Forma: Áreas de los colores antes mencionados donde se discriminan sólo aquellas que poseen formas rectangulares. Textura: además de poseer forma regular (principalmente rectangulares) poseen una textura homogénea.</p>	
<p><b>Espacios Abiertos</b> Con una escasa cobertura de pastos incluyendo áreas rocosas. También se incluyen las áreas de minería, de extracción, de material de construcción y de otros minerales.</p>	<p>Color, forma y textura. Áreas que reflejan colores claros tendientes al blanco, en la imagen Falso Color. Formas irregulares y textura rugosa o lisa, según la topografía en donde se encuentren.</p>	
<p><b>Vegetación Dispersa</b> Áreas de vegetación herbácea y arbustiva con espacios considerables entre individuos. Puede representar la degradación de tierras boscosas o de vegetación más densas.</p>	<p>Color, forma y textura Heterogeneidad cromática En Color Verdadero colores predominantes de la gama del verde, aunque intercalados con colores de la gama del café. En Falso Color colores de la gama del rojo, aunque intercalados con colores de la gama del claros como el café, blanco. Forma: irregular. Textura: Rugosa.</p>	
<p><b>Vegetación Densa</b> Formación vegetal principalmente por árboles y también por arbustos donde cada individuo está cercano al otro.</p>	<p>Color, forma y textura En Color Verdadero distintas tonalidades de verde. En Falso Color rojo intenso y negro. Forma irregular. Textura rugosa</p>	
<p><b>Cursos y Cuerpos de Agua</b> Los Primeros corresponden a cursos o drenajes naturales de aguas presentes en una cuenca y los segundos corresponden a las acumulaciones naturales y artificiales de agua en un determinado lugar</p>	<p>Forma, color y textura. De forma elongada. En Color Verdadero corresponde a la gama del azul. En Falso Color de colores azul oscuro, incluso negro. Textura: Lisa Homogeneidad cromática Forma, color y textura. Forma irregular, de límites claros y generalmente redondeados. Color: en Falso Color azul oscuro hasta llegar al negro. En Color Verdadero dentro de la gama del azul.</p>	

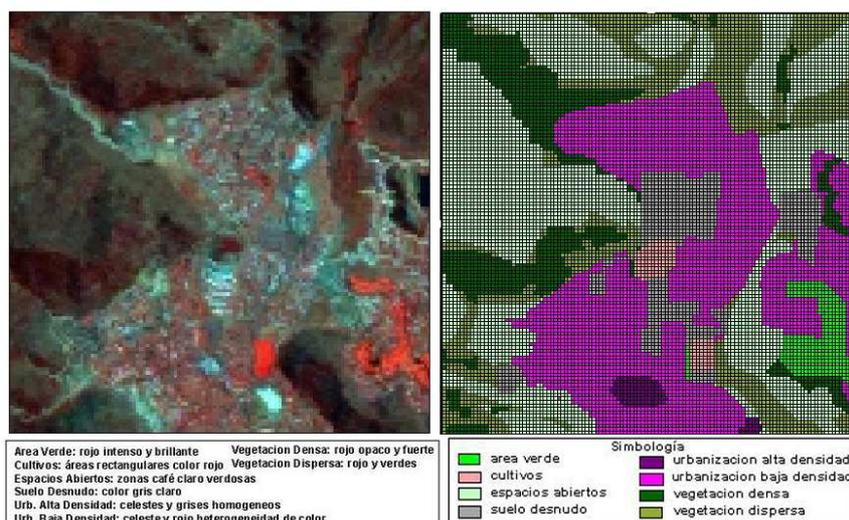
Elaboración en base a Romero (2006); Moscoso (2006).

Esta tipología se aplicó a tres imágenes satelitales LANDSAT TM correspondiente al 17 de marzo de 1989, 29 de enero de 1998 y 7 de febrero de 2007, en composiciones de

color verdadero (con las bandas correspondientes al espectro electromagnético del rojo, azul y verde) y composiciones en falso color estándar ó infrarroja (con las bandas correspondientes al espectro electromagnético del verde, rojo e infrarrojo cercano). Debido a la escasa resolución espacial del píxel de las imágenes LANDSAT (30 x 30 metros) se utilizaron para el año 2007 imágenes satelitales de mayor resolución del área de estudio, con el fin de apoyar la fotointerpretación para el reconocimiento de formas. Se trata de imágenes satelitales en color verdadero disponibles en el software Google Earth, capturadas con el satélite Quickbird con una resolución de 3 metros.

La fotointerpretación fue realizada mediante la instalación de una grilla vector sobre las imágenes satelitales, cuyos píxeles fueron concordantes con las imágenes LANDSAT TM, utilizando el software ArcGis 9.2 y su extensión Hawth's Tools. En la figura N° 6 se da un ejemplo de la fotointerpretación que se realizó sobre las distintas imágenes satelitales antes mencionadas.

**Figura N° 6 Grilla de Fotointerpretación**

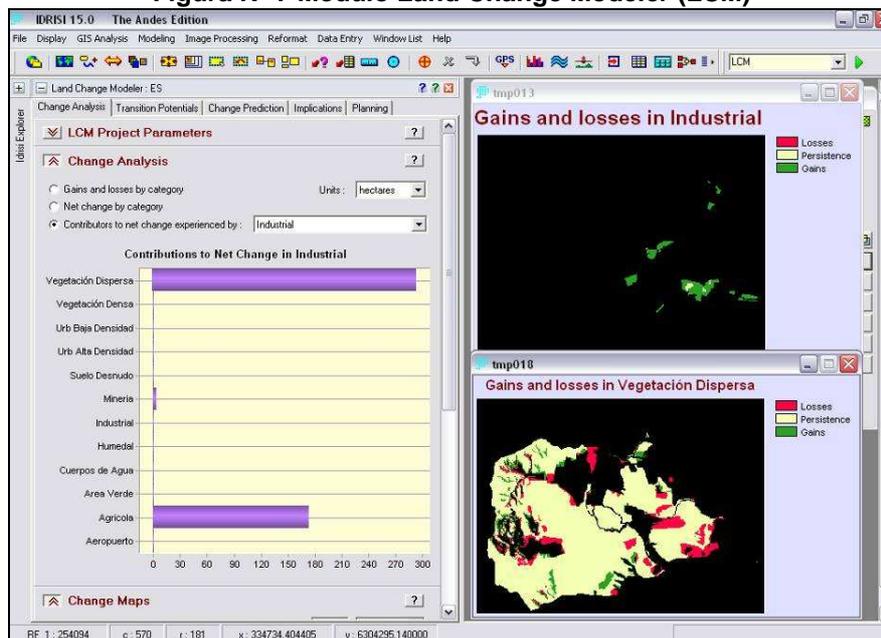


Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Dinámica de cambio de uso y coberturas de los suelos

Una vez obtenidos los usos y coberturas para los diferentes años de análisis, se realizó un análisis estadístico descriptivo espacio-temporal de los cambios de usos y coberturas de suelo en el período 1989 - 2007, con sub-períodos entre los años 1989 - 1998 y 1998 - 2007, utilizando el módulo Land Change Modeler LCM del programa IDRISI ANDES (Figura N° 7) como principal herramienta. Este programa permitió realizar un análisis estadístico descriptivo espacio-temporal de las ganancias y pérdidas de superficies experimentadas por los distintos usos y coberturas de suelo, sus cifras netas y transiciones, determinadas a partir de la identificación y descripción de los cambios producidos (Eastman, 2007), como así también sus tendencias.

Figura Nº 7 Módulo Land Change Modeler (LCM)



Fuente: Elaboración propia.

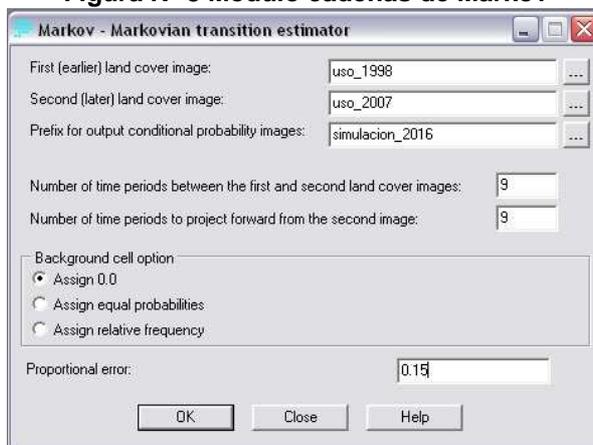
### 3.3 Simulación de cambio de uso y cobertura de suelo

El presente estudio considera dos diferentes escenarios para los dos años simulados (2016-2025), El primer escenario está dado por el registro histórico u observado (RHO) ó también llamado en base al crecimiento observado (CO), que corresponde a los cambios ocurridos entre los años 1989-2007. El segundo escenario está formulado considerando la implementación del PREMVAL (CIP), sus zonas de expansión urbana ó restricción y la red vial estructurante asociada.

#### 3.3.1 Cadenas de Markov

Se trata de un método estadístico que muestra la probabilidad de que un uso o cobertura del suelo cambie a otro. Para el cálculo de cadenas de Markov se utilizó el Modulo MARKOV del programa IDRISI ANDES (Figura Nº 8), el cual según afirma Paegelow *et al* (2003) simula la predicción del estado de un sistema en un tiempo determinado a partir de dos estados precedentes. Esto significa que la modelización no tiene en cuenta las variables explicativas y descriptivas, sino que se basa exclusivamente en el análisis de la dinámica interna del sistema. Por lo tanto, la probabilidad de que ocurra un suceso o cambio dependerá de lo que ocurra en los estados anteriores.

**Figura N° 8 Modulo cadenas de Markov**



Fuente: Elaboración propia

Este método compara los usos observados en dos tiempos distintos  $t_1$  y  $t_2$  y proyecta al tiempo  $t_3$  y que según lo señalado por Eastman (2006), se le debe asignar un error proporcional que debe ser igual a 0.15 del cálculo de las probabilidades arrojadas por las cadenas de Markov.

Este módulo configura dos matrices:

- Matriz de probabilidades de transición, la cual se despliega automáticamente y expresa la probabilidad que tiene un píxel de cambiar o permanecer en alguna clase en el mismo periodo de tiempo (tabla N° 6).

**Tabla 6 Extracto matriz de probabilidad de cambio**

	Urbano	Agrícola
Urbano	0.9	0.0
Agrícola	0.7	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Matriz de áreas de transición, que expresa el total de áreas (en celdas) que esperan cambiar en el próximo periodo de tiempo. Esta última es la utilizada en el Modulo CA\_MARKOV del programa IDRISI ANDES que se verá mas adelante. Por lo tanto el ingreso de los datos para Cadenas de Markov se realizó como muestra la tabla N° 7.

**Tabla 7 Uso de Cadenas de Markov**

Año Inicial (a)	Año Base (b)	Año Simulación	Periodo (a-b)	Periodo a Simular	Error Proporcional
1989	2007	2025	18	18	0.15
1998	2007	2016	9	9	0.15
1989	1998	2007*	9	9	0.15

\*Año simulado para la validación del modelo.

Fuente: Elaboración propia

Además como ya se ha mencionado se proyectaron dos diferentes escenarios, donde en el escenario que considera la implementación del Premval (CIP) se debió agregar las áreas de expansión en la matriz de cálculo de áreas de transición (tabla 8), asumiendo también que este plan entrará en vigencia a partir del año 2010.

**Tabla 8 Áreas de Transición mediante Cadenas de Markov y según escenario<sup>2</sup>**

<b>Cadenas de Markov en escenario realizado bajo el registro histórico observado</b>	<b>Cadenas de Markov en escenario que contempla la implementación del PREMVAL</b>
Probabilidad de cambio $(t_1; t_2 \dots t_i)$ x celdas existentes = áreas de transición	Probabilidad de cambio $(t_1; t_2 \dots t_3)$ x $\Sigma$ [celdas existentes & celdas de las áreas de expansión PREMVAL] = áreas de transición

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Imágenes de aptitud

Las imágenes de aptitud, se pueden definir como el interés o disposición a emplazar un uso o cobertura de suelo en algún lugar. Esta aptitud o disposición es de carácter básico, lo cual implica que no incluye necesariamente una visión de idoneidad de ocupación del territorio, sino que representa tendencias registradas en el periodo de análisis o áreas propuestas por instrumentos de planificación. Estas imágenes son el resultado de una suma lineal ponderada obtenida mediante una Evaluación Multicriterio (EMC), propuestas por Barredo (1996, en Henríquez *et al* 2006b) y Eastman (2006) y tienen como objetivo crear para cada uso o cobertura de suelo una imagen que presenta:

- **Restricciones o limitantes:** Se trata de criterios que restringen la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada. Con estos criterios se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación. Se genera una capa binaria (0 ó 1) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otro, la no disponibilidad para la actividad (Rivera, 2001).
- **Forzamientos o Factores:** Es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración. Se mide en una escala continua, y se genera en una capa con rangos que van desde 0 (nula aptitud) a 255 (máxima aptitud) (Rivera, 2001).

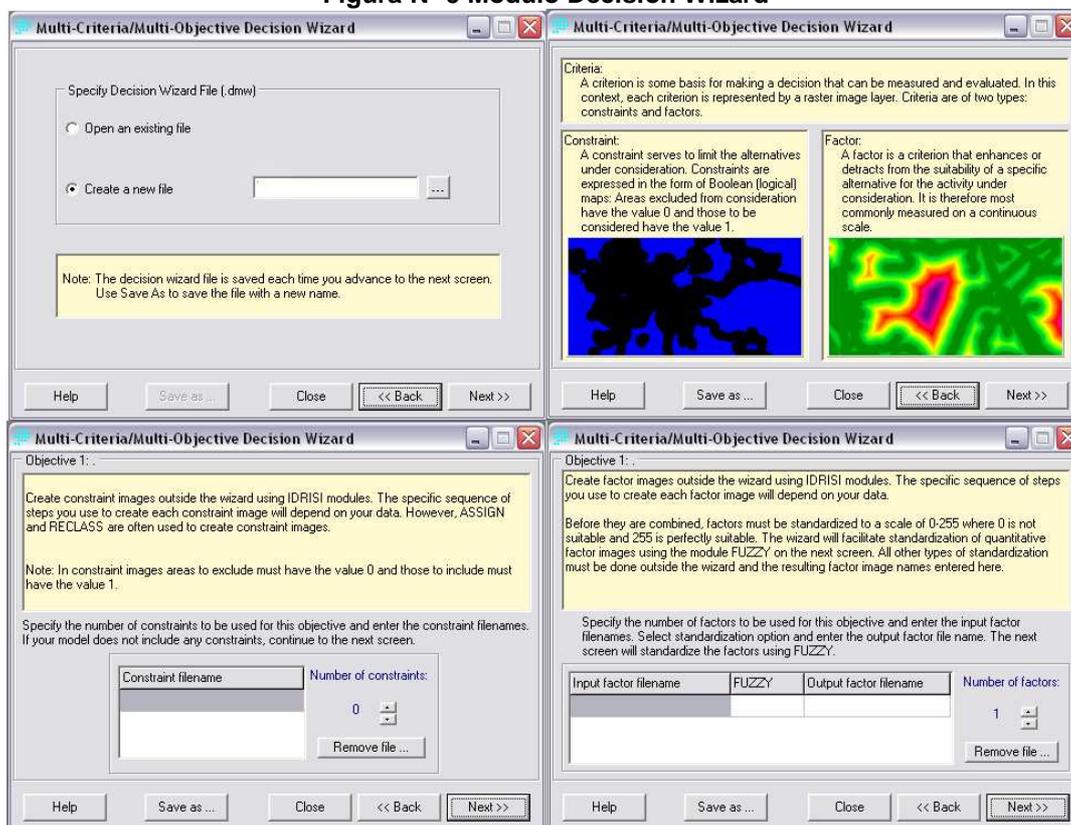
Debido a que el presente estudio considera dos escenarios futuros posibles, un set de imágenes representa las tendencias históricas observadas entre los años 1989 y 2007, y el otro incluye además las zonas de expansión ó restricción planteadas en el PREMVAL.

La creación de estas imágenes, permitió apoyar la decisión de espacialización. Conjuntamente con los Autómatas Celulares, se utilizó el comando Decision Wizard de IDRISI ANDES, creando una EMC para cada uso, con sus respectivas restricciones y forzamientos o factores. Las restricciones se deben presentar en imagen Raster con formato Byte en Binario, o sea corresponden a 0 ó 1; siendo 0 toda área que se encuentra

<sup>2</sup> En este estudio  $t_3$  indicará el estado de un año en el instante de tiempo futuro. Esto define un proceso estocástico que corresponde a la secuencia  $t_1, t_2$ .

excluida o restringida para el uso; mientras 1 son las áreas que se encuentran incluidas para el determinado uso. Los forzamientos o factores se deben también presentar en imagen Raster con formato Byte pero de 256, o sea de 0 a 255; siendo 0 nula aptitud y 255 máxima aptitud para el uso determinado. (Figura N° 9).

Figura N° 9 Modulo Decision Wizard



Fuente: Elaboración propia.

Para la creación de los llamados forzamientos o factores se utilizaron varios criterios dependiendo el escenario a simular, los cuales debieron ser estandarizados entre 0 – 255 de acuerdo con lo propuesto por Eastman (2006).

Los factores considerados son:

- Ganancias de superficie por cada uso: A cada uso y en ambos escenarios, se les creó una imagen que contuviera las ganancias (en Hás.) sobre otros usos durante el periodo. Las áreas obtenidas fueron estandarizadas (Figura N° 10) con el comando Fuzzy de IDRISI ANDES mediante un procedimiento lineal (Eastman, 2006) donde:

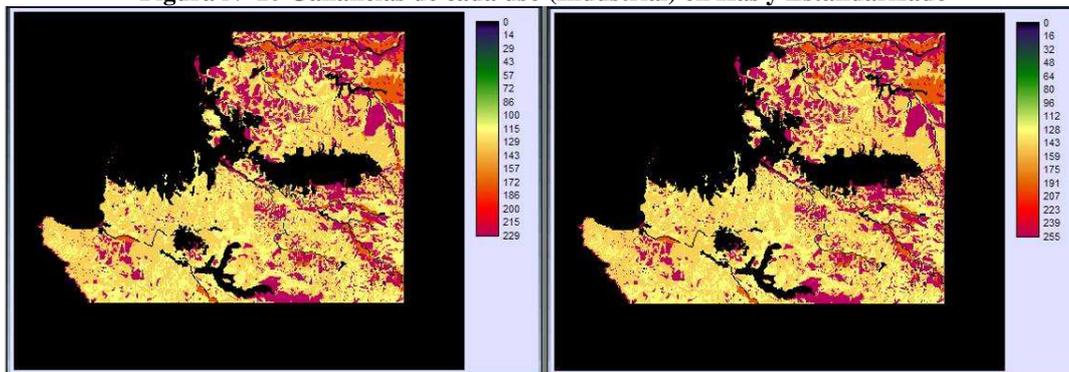
$$X_i = (R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min}) * \text{standardized range}$$

Siendo:

$X_i$ = Dato del factor estandarizado  
 $R_i$ = Dato del factor a estandarizar  
 SR= Rango de estandarización

$R_{\max}$ = Dato máximo del factor a estandarizar  
 $R_{\min}$ = Dato mínimo del factor a estandarizar

Figura N° 10 Ganancias de cada uso (Industrial) en Has y Estandarizado



Fuente: Elaboración propia

- Áreas de Expansión Urbana: Corresponde a urbanizaciones de Alta y Baja Densidad y han sido consideradas solo en los escenarios que tratan la implementación del PREMVAL (CIP). Posee un valor entre 0 y 255, de acuerdo con las condiciones de subdivisión predial y de edificación obtenidas de la Ordenanza del PREMVAL, asumiendo que dichas características son condicionantes del tipo de urbanización que se emplace en el área de expansión correspondiente (tabla 9).

Tabla 9 Condiciones de edificación en zonas de expansión propuestas por PREMVAL.

Zona	Subdivisión predial mínima	Coefficiente de ocupación máxima residencial	Coefficiente de ocupación máxima no residencial	Coefficiente de constructibilidad máxima	Sistema agrupamiento	Densidad bruta máxima (Hab/Has)
ZEU-1	500 m <sup>2</sup>	0.3	0.5	0.6	A; P	100
ZEU-2	1.000 m <sup>2</sup>	0.3	0.6	1.2	A	80
ZEU-3	2.000 m <sup>2</sup>	0.4	0.6	1.2	A	85
ZEU-4	5.000 m <sup>2</sup> residencial 10.000 m <sup>2</sup> no residencial	0.15	0.3	0.3	A	30
ZEU-5	800 m <sup>2</sup>	0.3	0.3	1.2	A	80
ZEU-6	400 m <sup>2</sup>	0.3	0.3	0.6	A; P; C	60
ZEU-7	300 m <sup>2</sup> residencial 2.000 m <sup>2</sup> no residencial	0.4	0.6	1.2	A	280
ZEU-8	800 m <sup>2</sup> residencial 1.500 m <sup>2</sup> no residencial	0.25	0.3	0.5	A	80
ZEU-9	10.000 m <sup>2</sup>	0.1	---	0.2	A	---
ZEU-10	200 m <sup>2</sup>	0.5	0.6	0.8	A; P; C	480
ZEU-11	5.000 m <sup>2</sup>	0.25	0.4	1.25	A	280
ZEU-12	5.000 m <sup>2</sup>	0.25	0.4	0.8	A; P; C	280
ZEU-13	5.000 m <sup>2</sup>	0.15	0.3	0.3	A	30
ZEU-14	5.000 m <sup>2</sup>	0.4	0.6	2.0	A	600
ZEU-15	SECCIONAL AMEREIDA					
ZEU-16	10.000 m <sup>2</sup> residencial 20.000 m <sup>2</sup> no residencial	0.4	0.6	1.2	A	180
ZEU-TR	30.000 m <sup>2</sup>	0.2	0.2	0.4	A	---
ZEU-PT	10.000 m <sup>2</sup>	---	0.7	1.0	A	---
ZEU-PM	5.000 m <sup>2</sup>	---	0.7	1.0	A	---
ZEU-PP	10.000 m <sup>2</sup>	---	0.7	1.5	A	---

Fuente: Elaboración propia en base a Ordenanza PREMVAL, 2009.

- Red Vial: Fue utilizada para los usos Urbanización de Alta y Baja Densidad e Industrial y en ambos escenarios. Sólo se utilizó la red vial principal a la cual se le calculó la distancia a través del comando DISTANCE de IDRISI ANDES, siendo luego estandarizada en función del decrecimiento, lo que quiere decir que las áreas cercanas a las vías poseen una aptitud mayor para las urbanizaciones de baja y alta densidad, ya que como indica Henríquez y Azócar (2007) éstas actúan como el principal eje estructurante del crecimiento urbano.
- Áreas de Expansión Industrial: son áreas delimitadas por la ordenanza y los planos del PREMVAL, las cuales fueron estandarizadas en rangos de 0 a 255, siendo 0 nula aptitud y 255 la más alta aptitud y utilizada en los escenarios que considera la implementación del PREMVAL (CIP).
- Pendiente: se clasificaron con respecto a la Ordenanza del PREMVAL (tabla 10), y fueron estandarizadas a través del comando fuzzy, con la función decreciente según los quiebres dados por el PREMVAL. Fueron utilizadas en ambos escenarios.

**Tabla 10 Ocupación de Suelo según Pendiente.**

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Restricción</b>
0 a 40	No presentan riesgo para la extensión urbana
40 a 70	Presentan riesgo para la extensión urbana
70 y +	Altamente restrictivas para extensión urbana

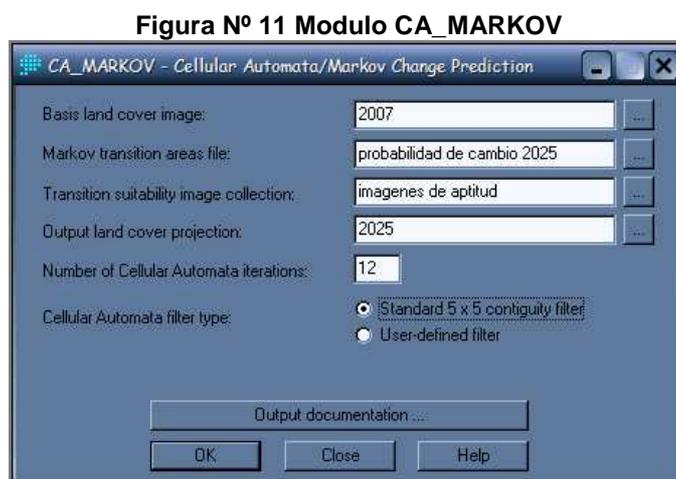
Fuente: Elaboración propia en base a Ordenanza PREMVAL, 2009.

- Áreas de protección ecológica: utilizadas sólo con la cobertura vegetación densa y dispersa, estandarizada con la más alta aptitud y solo utilizada en los escenarios que considera la implementación del PREMVAL (CIP).

Una vez obtenidas las Restricciones y los Factores de uso se realizó una Evaluación Multicriterio de los Factores mediante el modulo WEIGHT de IDRISI ANDES para otorgarle pesos a cada uno de ellos, mediante una suma lineal ponderada, logrando crear una imagen final por cada uso, combinando las restricciones y factores (con sus respectivos pesos de EMC).

### 3.3.3 Autómatas Celulares

Para la aplicación del método de Autómatas Celulares se utilizó el módulo CA\_MARKOV de IDRISI ANDES (Figura N° 11), comando que integra este método y las Imágenes de aptitud, utilizando una Imagen Base. Esta última corresponde a la imagen del año 2007, También se utilizó la Tabla de Áreas de Transición creada anteriormente con el módulo MARKOV, y finalmente las Imágenes de Aptitud creadas a través del módulo Decision Wizard realizada previamente. A partir de la integración de estos tres métodos en este comando arroja como resultado una imagen proyectada de los usos y coberturas.



Fuente: Elaboración propia.

Los autómatas celulares corresponden a un método de representación espacial, que se compone de reglas de transición que son aplicadas a figuras geométricas, llamadas en este estudio celdas. Dichas unidades espaciales contienen una historia y una evolución de cambio en el tiempo, además de reglas como la influencia de celdas colindantes a una celda central. El método está constituido básicamente por tres componentes, de acuerdo con lo señalado por Barredo *et al* (2003), Henríquez *et al* (2006b) y Aguilera *et al* (2006):

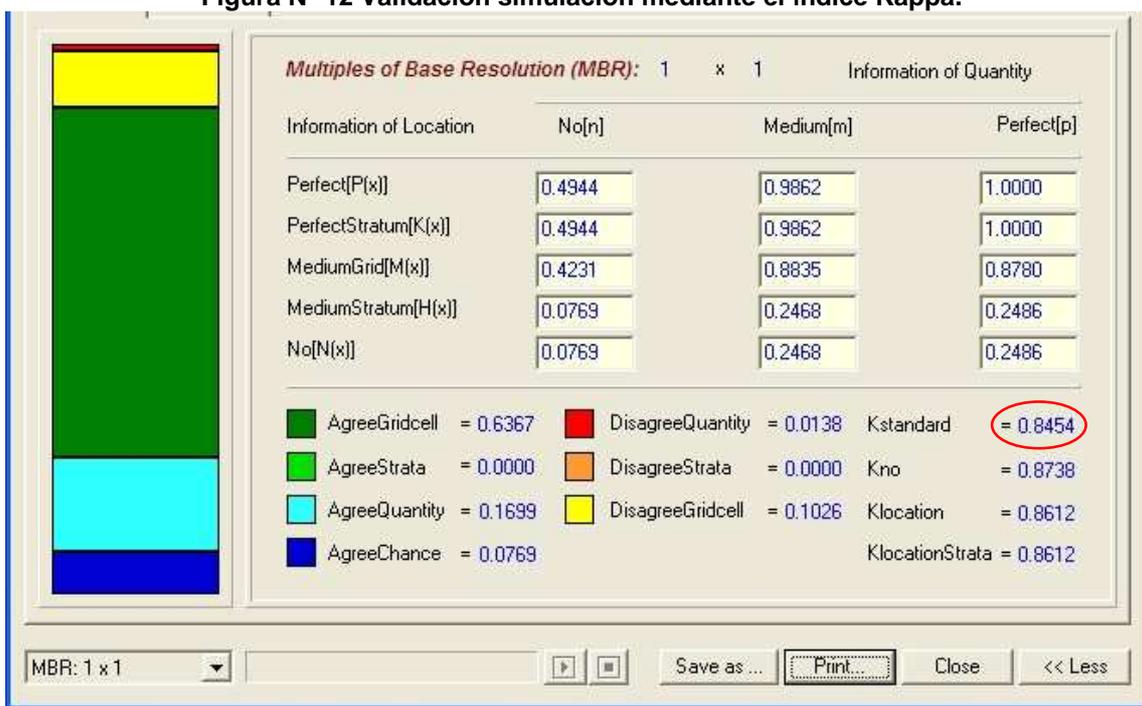
- La celda: Es el elemento básico y consiste en un área rectangular de 30 x 30 metros en este estudio, también llamada píxel. Cada celda tiene una historia de cambio y una evolución determinada por los otros dos componentes.
- Vecindad de las Celdas: Consiste en la influencia que generan en el estado de una celda central, las celdas inmediatamente colindantes. Dependiendo del comportamiento de las celdas vecinas, la central puede convertirse o permanecer en el estado original.
- Aptitud del Territorio: Consiste en combinar el valor de la celda con las imágenes de Aptitud, para designarle restricciones y factores.

Wolfram (1984 en Aguilera, 2006) define a los Autómatas Celulares como un sistema dinámico formado por un conjunto de elementos sencillos idénticos entre sí, pero que en conjunto son capaces de demostrar comportamientos complejos.

Finalmente, la validación de las simulaciones realizadas se realizó mediante la comparación entre un año observado en la realidad y el mismo simulado, como se puede

observar en el Anexo 1. Para la validación se empleó el índice Kappa, el cual combina principalmente los índices Klocation y Kquantity. El primero realiza la verificación de la localización de las celdas de cada categoría sin importar la cantidad, y el índice Kquantity, el cual aparece en la figura N° 12 denominado como Kno, es estadístico y verifica la cantidad de celdas de cada categoría. El índice Kappa depende de ambos para obtener la validación de la simulación, basándose en lo señalado por Pontius (2000), Eastman (2006) y Sousa *et al* (2002). El valor Kappa obtenido en el modelo de simulación es de 0.84, (figura N° 12), lo cual valida el modelo ocupado en esta investigación.

Figura N° 12 Validación simulación mediante el índice Kappa.



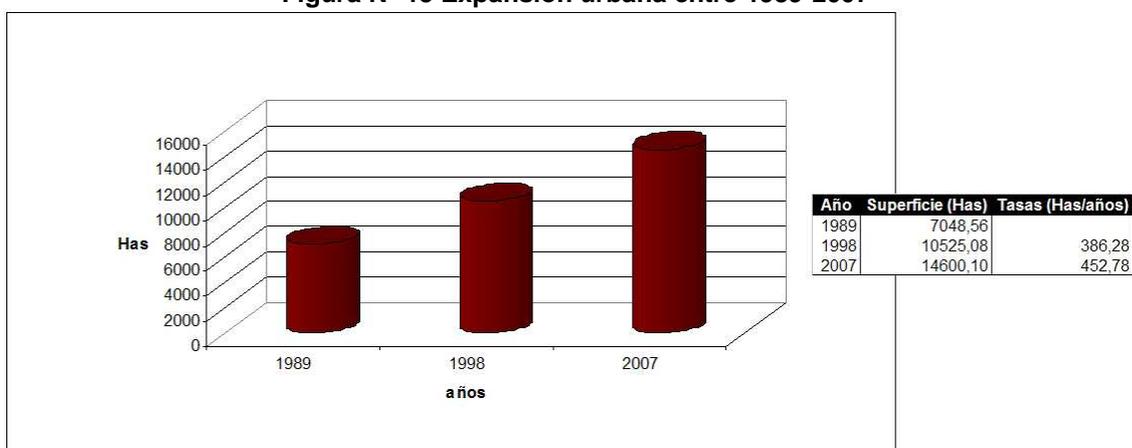
Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS

### 4.1 Expansión Urbana 1989-2007

La expansión física del área urbana en el Gran Valparaíso tiene como característica una tendencia de crecimiento constante, la cual se puede observar en la figura N° 13. En ella se advierte que desde el año 1989 la superficie urbana construida ha pasado desde 7.048,56 a 14.660,10 Has. en el año 2007, agregando así 7.611,54 Has., y duplicando la cifra inicial.

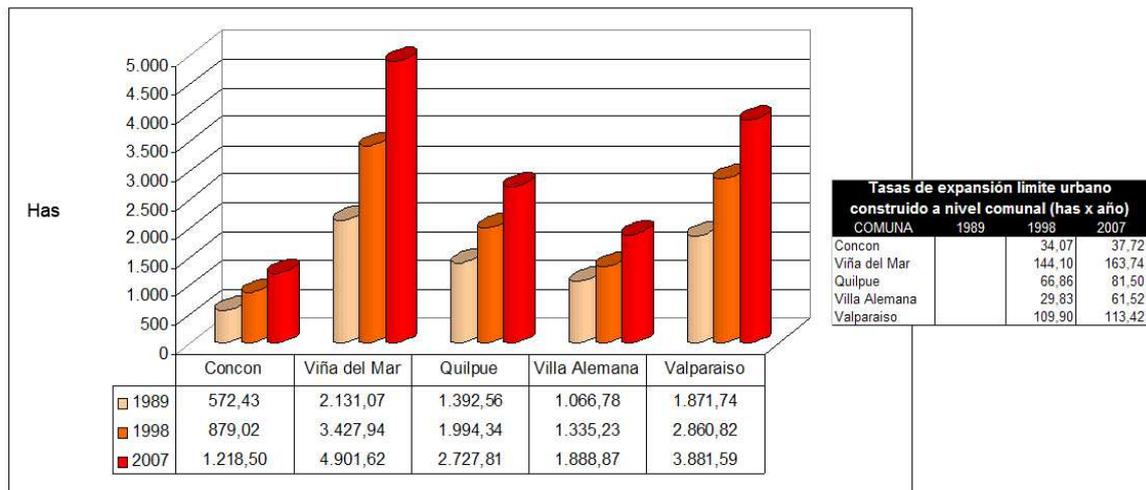
Figura N° 13 Expansión urbana entre 1989-2007



Fuente: Elaboración propia

Esta expansión urbana es claramente desigual a nivel comunal, concentrándose en comunas como Valparaíso y Viña del Mar, sobretodo esta última, la cual se destaca por la mayor cantidad de hectáreas por año agregadas a su área urbana (Figura N° 14). Las tasas de expansión del área urbana de estas comunas, son las más altas en los subperiodos 1989-1998 y 1998-2007. Mientras las comunas de Concón y Villa Alemana son las con más bajas tasas de expansión en estos subperiodos, pero entre 1998 y 2007 la comuna de Villa Alemana sobresale por doblar su tasa de crecimiento del área urbana (figura N° 14).

**Figura N° 14 Superficie límite urbano construido y tasas de expansión a nivel comunal**



Fuente: Elaboración propia.

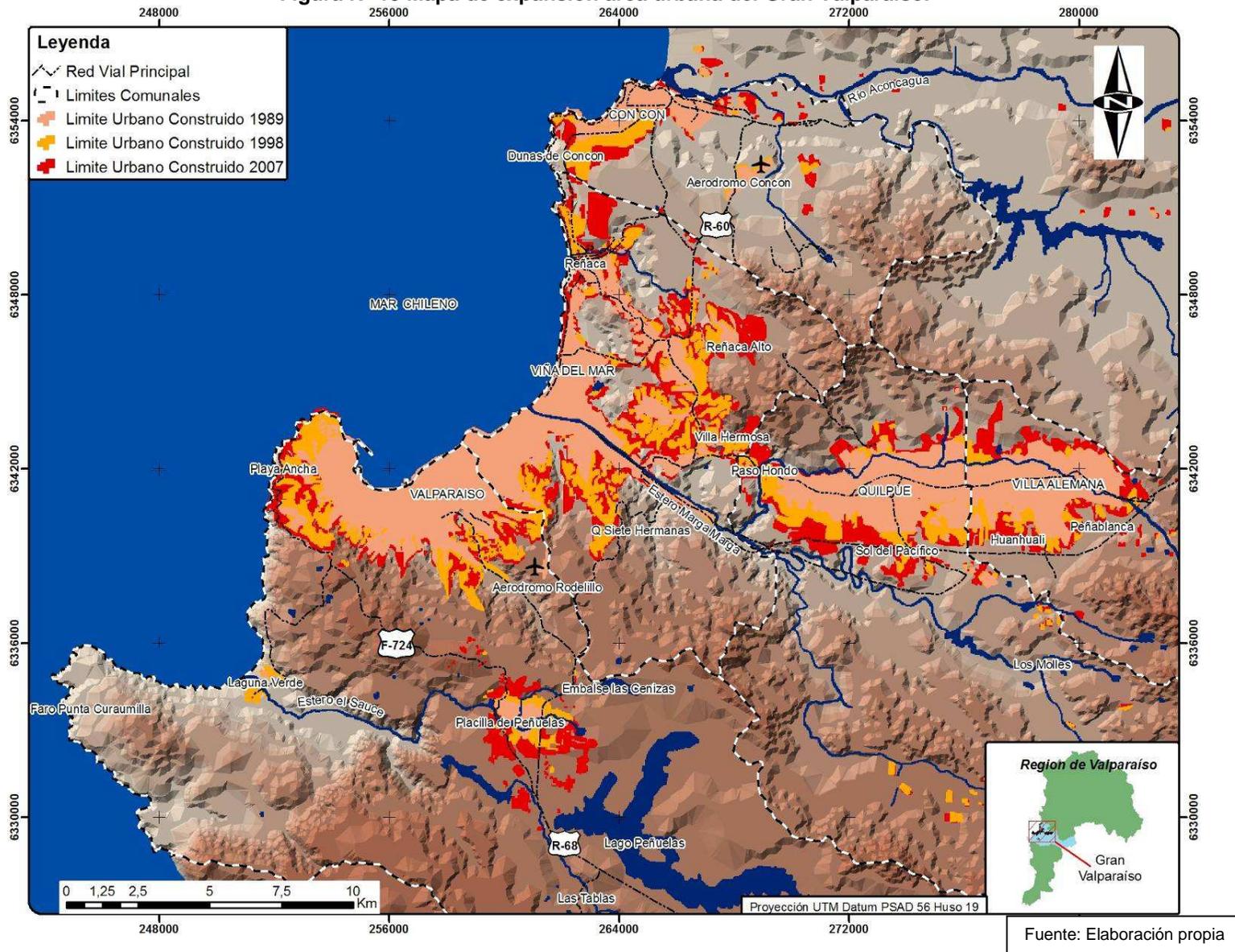
La expansión del área urbana construida en el Gran Valparaíso tiene como una de sus características el fuerte proceso de conurbación entre las distintas ciudades que integran al sistema urbano objeto de estudio. Como se puede observar en la figura N° 15, la conurbación entre Viña del Mar y Quilpué, se ha efectuado a través de la expansión de los sectores de Villa Hermosa hacia el este principalmente y Paso Hondo, con una orientación este-oeste. En segundo lugar, la conurbación entre las ciudades de Concón y Viña del Mar ha estado ligada al eje vial borde mar, en los sectores de Reñaca en dirección norte y de Concón en dirección sur, en forma paralela a la línea de la costa, teniendo características de un crecimiento físico urbano tentacular. Otra característica de esta expansión está dada por el crecimiento físico concentrado en ciertos sectores de las ciudades que conforman el Gran Valparaíso. Destaca la expansión de las áreas urbanas de Placilla de Peñuelas y el sector ubicado al oeste del Aeródromo Rodelillos en Valparaíso; Reñaca Alto, en dirección hacia el Oeste; al oeste de Quebrada Siete Hermanas y los ya mencionados sectores de Reñaca y Villa Hermosa en la comuna de Viña del Mar.

En tanto la comuna de Concón presenta una expansión urbana que se orienta básicamente hacia el sur de la ciudad, principalmente en un proceso de conurbación con el sector de Reñaca en Viña del Mar. Por otro lado, en la comuna de Quilpué la expansión de la ciudad principalmente se produce en tres sectores: hacia Paso Hondo en dirección a Viña del Mar, ya mencionada, en el sector Sol del Pacífico y al oeste de este sector. Finalmente la expansión de la ciudad de Villa Alemana es en forma radial al límite urbano del año 1989, incrementado regularmente la mancha urbana (figura N° 15).

Cabe agregar que la expansión del área urbana del Gran Valparaíso se da básicamente bajo dos procesos, uno es el de acreción o también llamado crecimiento tipo mancha de aceite, proceso de agregación de áreas urbanas que se efectúa en áreas urbanas consolidadas, como se observa en las ciudades de Valparaíso, Quilpué y Villa Alemana. Otro patrón de crecimiento corresponde al de tipo tentacular, principalmente ubicado entre Viña del Mar y Concón (figura N° 15).

La única área que se encuentra desconectada del resto del sistema urbano corresponde a Placilla de Peñuelas en la comuna de Valparaíso, que también se trata de un área urbana consolidada y por ello no obedece a un proceso de urbanización tipo “salto de rana” o aislado propiamente tal. El Gran Valparaíso no presenta fuertes patrones de crecimiento aislado a escala intercomunal hasta ahora, como se observa en los Proyectos de Urbanización Condicionada que se llevan a cabo en Santiago, lo cual no implica que al disminuir la escala no asomen procesos de expansión urbana aislados.

Figura Nº 15 Mapa de expansión área urbana del Gran Valparaíso.



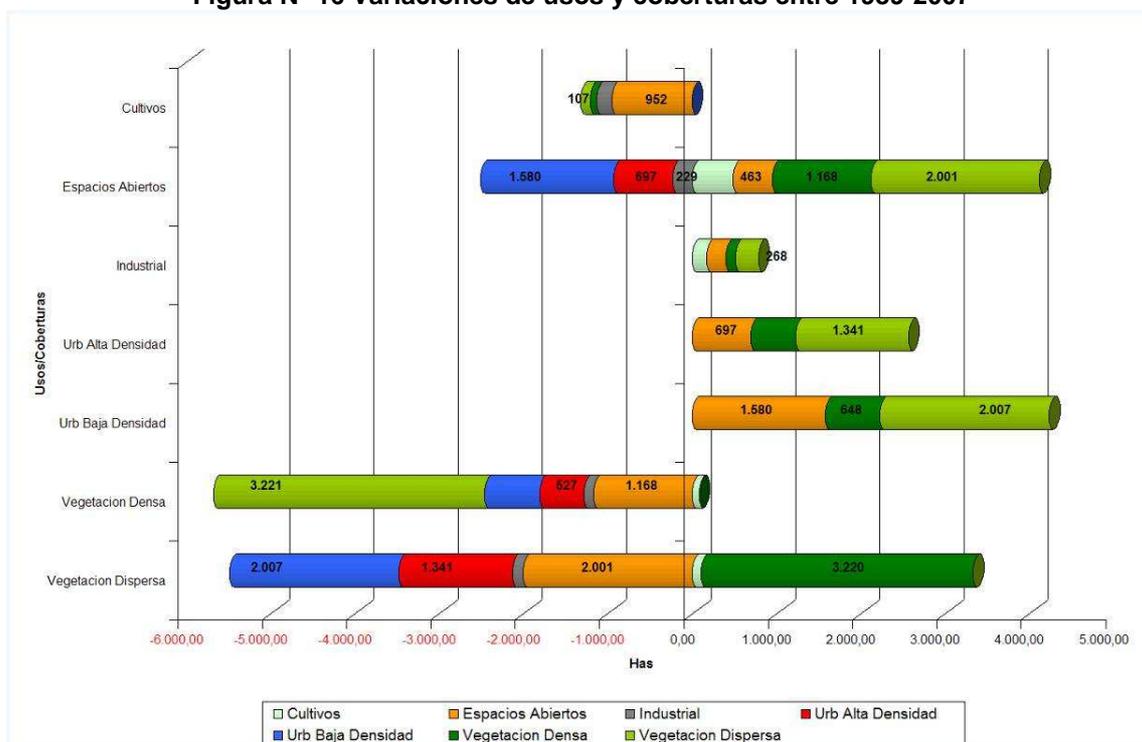
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 Cambios de uso y coberturas periodo 1989-2007

Durante este período se pueden observar tres principales características en el proceso de cambio de uso y cobertura de suelo. Primero, las coberturas de cultivos y de vegetación densa solo presentan pérdidas durante el período, como se puede apreciar en la figura N° 16. En segundo lugar, las coberturas de espacios abiertos y de vegetación dispersa muestran un mayor dinamismo en el proceso de cambios de uso y cobertura de suelo, debido a que si bien pierden una gran cantidad superficie, también, simultáneamente, adicionan una gran cantidad de hectáreas. Como se observa en la figura N° 16 las hectáreas agregadas a la vegetación dispersa llegan solo a ser 2/3 de las hectáreas perdidas totales durante el período 1989-2007. Tercero, los usos y coberturas urbanas (llámese industrial, urbanización de alta densidad y de baja densidad) presentan sólo crecimiento en el periodo 1989-2007. La figura N° 16, muestra que las ganancias de los usos y coberturas urbanas se realizan principalmente a través de la sustitución de la cobertura de vegetación dispersa y que la urbanización de baja densidad es la que alcanza el mayor crecimiento durante el período.

Además mediante la figura N° 16, se logra determinar que los patrones de reemplazo ejercidos por la urbanización de alta y baja densidad, son bien similares en términos de estructura, concentrándose sobre la cobertura de vegetación dispersa, siguiendo por los espacios abiertos y finalizando con la vegetación densa, encontrándose básicamente la diferencia en la cantidad de hectáreas obtenidas.

Figura N° 16 Variaciones de usos y coberturas entre 1989-2007



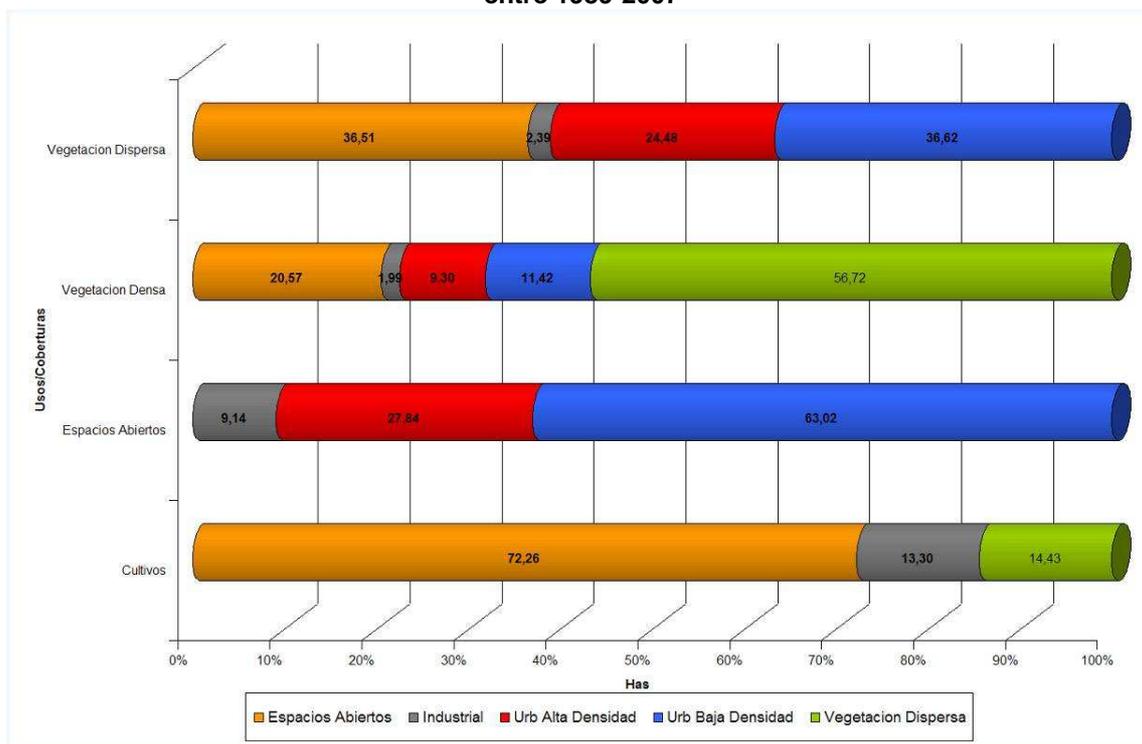
Fuente: Elaboración propia.

Como ya se ha mencionado, las coberturas de vegetación densa y de cultivos presentan solo pérdidas durante el período. Al ser analizadas con respecto a los usos y coberturas que las sustituyen, se evidencia que la vegetación densa es sustituida en más de 3.000 Has por la vegetación dispersa (figura N° 16) lo que equivale a un 56% del total de pérdidas de esta cobertura (figura N° 17), mientras que los usos urbanos lo hacen en un 28,38%. Cuando se observa el comportamiento de la cobertura de cultivos, se puede apreciar que el uso urbano que participa en la sustitución de esta cobertura corresponde al industrial, el cual lo hace en un 17,84% como se observa en la figura N° 17.

Cuando se observan las coberturas naturales y seminaturales que presentan un mayor dinamismo (espacios abiertos y vegetación dispersa), se aprecia claramente que son los usos y coberturas urbanos los que participan mayoritariamente e incluso de forma total en las pérdidas totales de estas coberturas (figura N° 17).

En el caso de las pérdidas totales de los espacios abiertos, el 100% del reemplazo es atribuible a usos y coberturas urbanas, destacándose el 63% de la urbanización de baja densidad en el proceso de cambio de esta cobertura (figura N° 17). Mientras que la cobertura de vegetación dispersa es reemplazada en alrededor de un 60% por usos y coberturas urbanas.

**Figura N° 17 Porcentajes de participación en las pérdidas totales según usos y coberturas, entre 1989-2007**

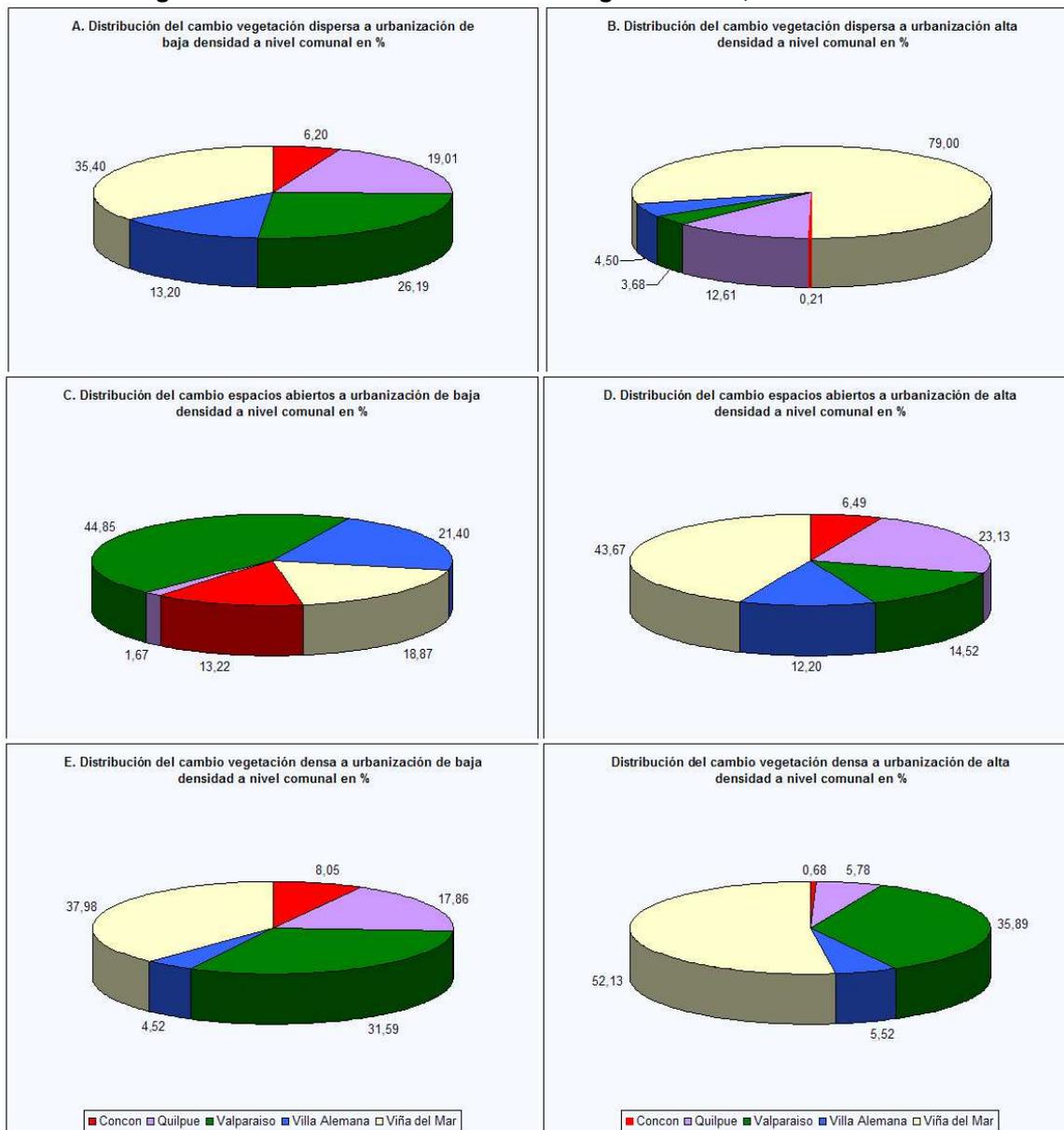


Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la localización de coberturas naturales y seminaturales que han sido sustituidas por usos urbanos, se evidencia su concentración en algunas comunas (figuras N° 18a al 18f). La mayor sustitución de la cobertura de vegetación dispersa por la urbanización de baja densidad (que es el mayor cambio en el período), se encuentra

concentrada en más de un 35% en la comuna de Viña del Mar, siguiendo en la comuna de Valparaíso con un 26% y en la de Quilpué con un 21% (figura N° 18a).

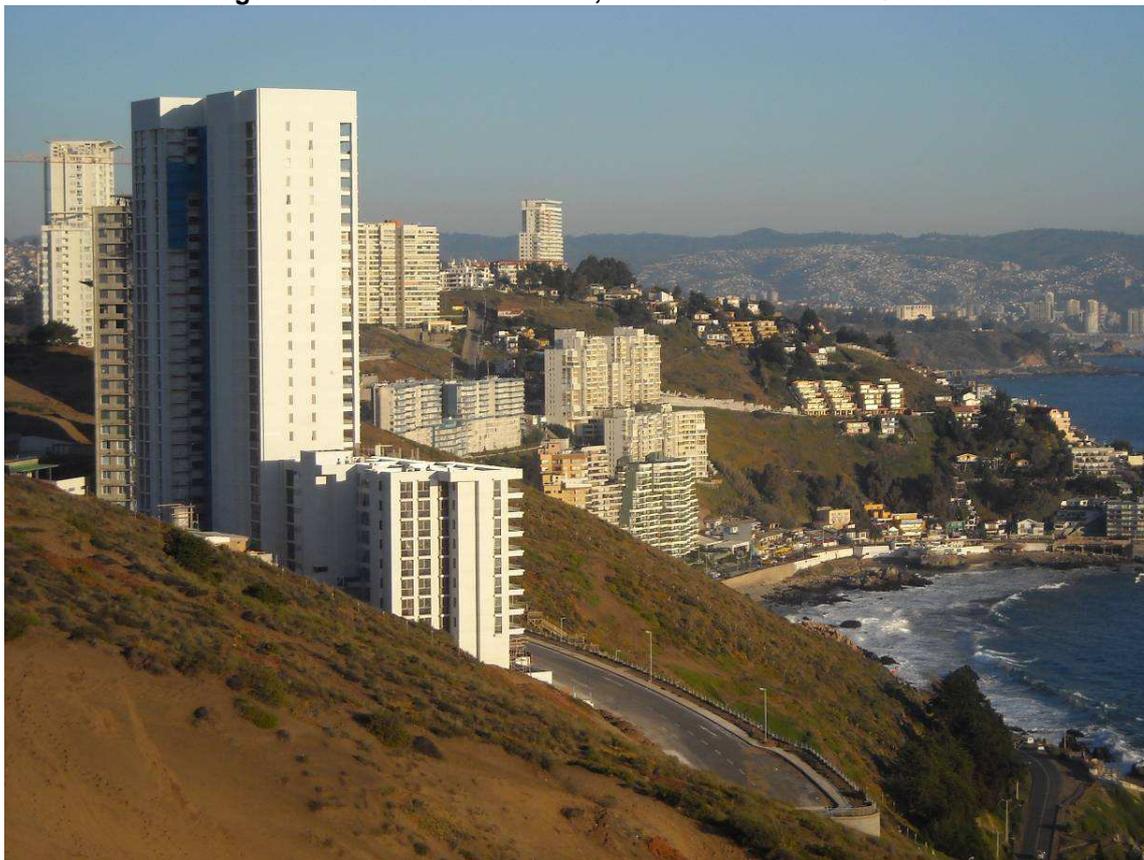
**Figura N° 18 Distribución de cambios según comuna, entre 1989-2007.**



Fuente: Elaboración propia.

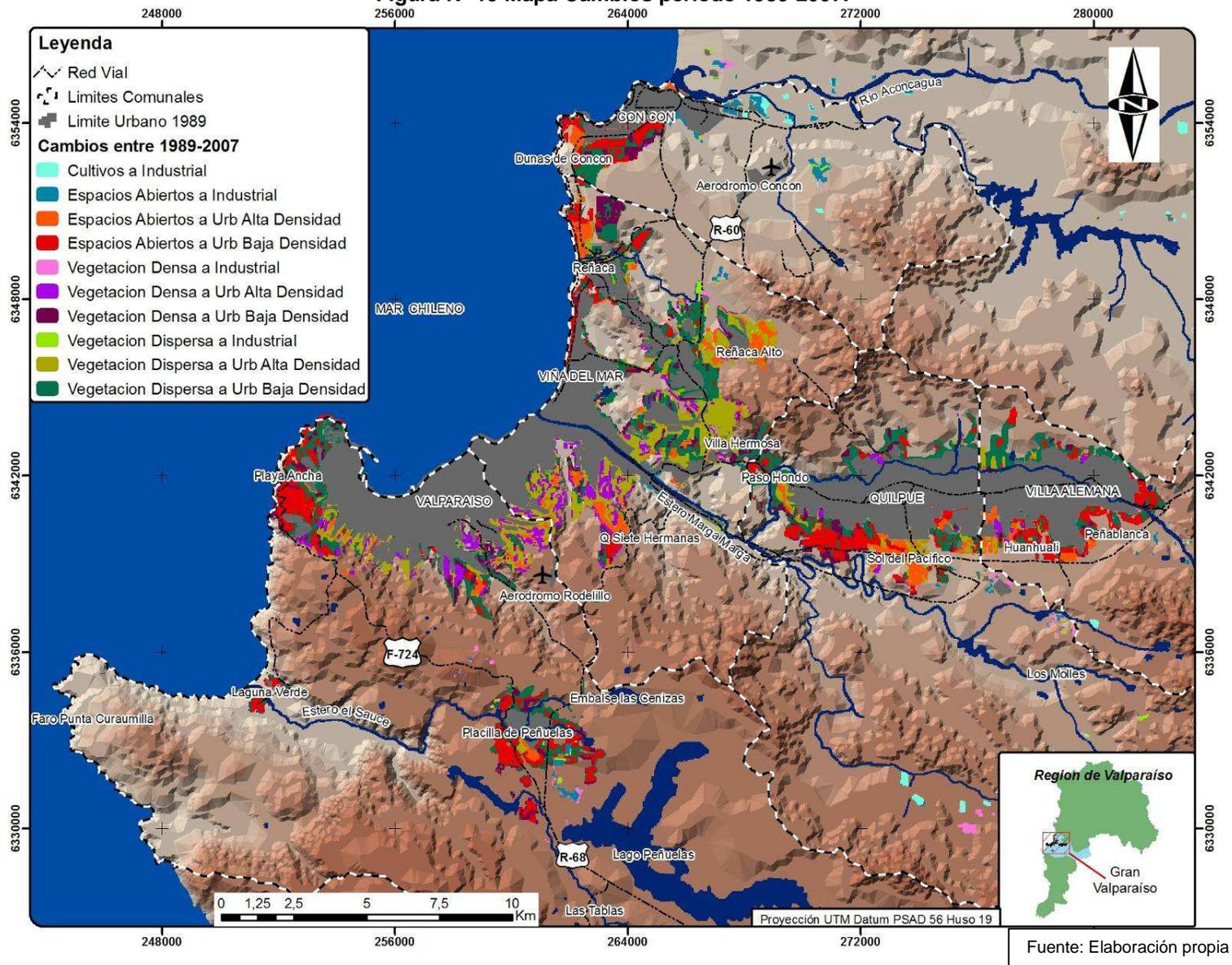
La comuna de Viña del Mar concentra la ocupación urbana de alta densidad de las coberturas de vegetación dispersa, espacios abiertos y vegetación densa, con un 60%, 45% y 57% respectivamente (figuras N° 18b, 18d y 18f). Esta concentración se puede apreciar en la figura N° 19 donde se observa que estos cambios se localizan y distribuyen principalmente en el área de Reñaca, sobretodo en forma paralela a la línea de la costa. En Reñaca Alto resalta la sustitución de vegetación dispersa a urbanización de alta densidad, mediante edificios de gran altura ubicados sobre campos dunarios (imagen 1). Otra localización a destacar es al oeste de Paso Hondo y de la quebrada Siete Hermanas, que resaltan por los cambios producidos desde espacios abiertos y vegetación densa a urbanización de alta densidad.

**Imagen 1 Edificaciones de altura, bordemar de Reñaca-Concón**



Fuente: Tomada en terreno julio 2009.

Figura Nº 19 Mapa Cambios período 1989-2007.

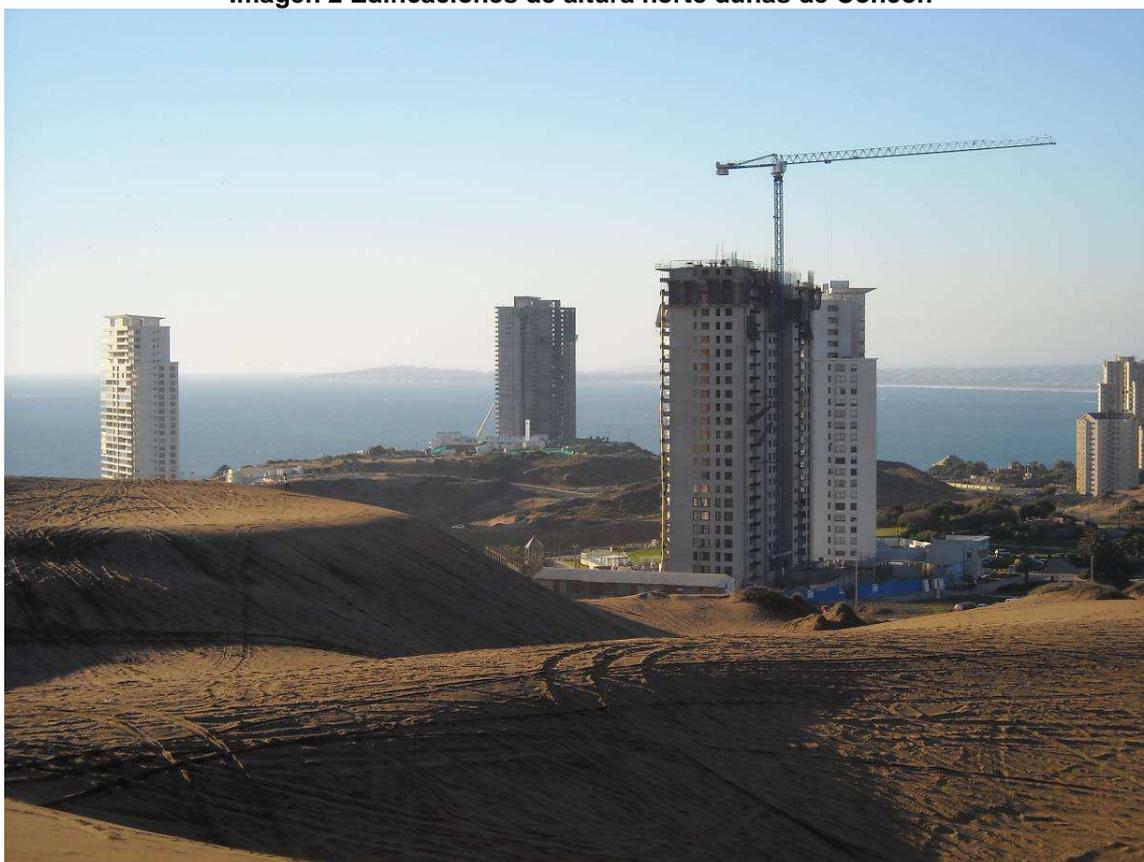


Los espacios abiertos han sido reemplazados solamente por usos y coberturas urbanas. La sustitución de espacios abiertos por urbanización de baja densidad se produce principalmente en la comuna de Valparaíso (Fig. 19) ratificando lo mostrado por la figura N° 18c, donde se observa que más del 40% del total de cambios de este tipo, se localiza principalmente en las áreas de Playa Ancha y Placilla de Peñuelas.

En las comunas de Concón, Quilpué y Villa Alemana sobresalen principalmente los cambios producidos desde las coberturas de vegetación dispersa y espacios abiertos a la urbanización de baja densidad (figura N° 19), localizados principalmente en la zona sur de la comuna de Concón -en dirección hacia el sector de Reñaca en Viña del Mar-, hacia el sur y oeste del límite urbano de la comuna de Quilpué -siendo esta última dirección la que se unifica con el área urbana de la comuna de Viña del Mar-, mientras que en la comuna de Villa Alemana su crecimiento se repartió alrededor del límite urbano de 1989.

Cabe destacar el reemplazo de espacios abiertos a urbanización de alta densidad en la comuna de Concón, ya que este proceso se encuentra relacionado a la ya mencionada edificación de altura desarrollada en el bordemar entre Concón y Viña del Mar (imagen 2).

**Imagen 2 Edificaciones de altura norte dunas de Concón**



Fuente: Tomada en terreno julio 2009.

#### **4.3 Cambios de uso y coberturas subperíodos 1989-1998 y 1998-2007.**

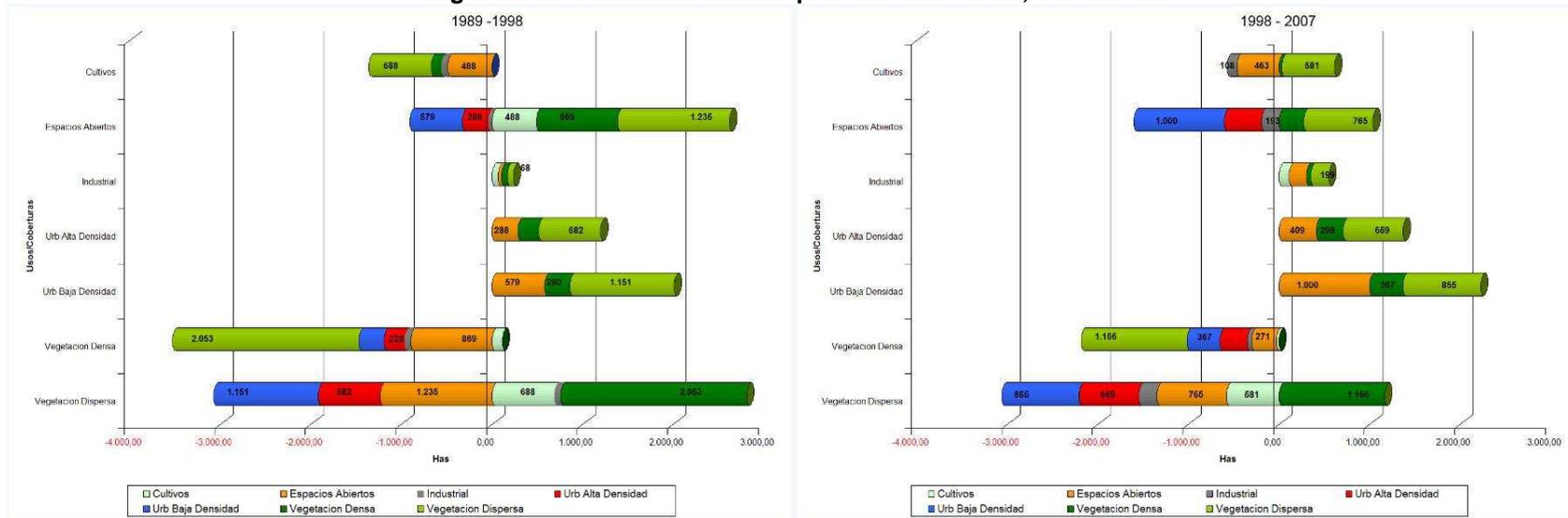
Cabe destacar para el análisis de estos dos subperíodos que los patrones de cambios ocurridos son muy similares a los del período 1989-2007 (tabla 11). También son similares los patrones de las variaciones de pérdidas y ganancias entre 1989-1998 y 1998-2007 (figura N° 20). La diferencia existente corresponde a las 581 hectáreas adicionadas a cultivos, provenientes de la cobertura de vegetación dispersa, la cual a su vez solo agrega hectáreas de la conversión de coberturas de vegetación densa.

**Tabla 11 Cambios producidos entre 1989-2007**

Período y Sub-Períodos <b>Cambio</b>	1989-2007		1989-1998		1998-2007	
	Has	%	Has	%	Has	%
Vegetacion Densa a Industrial	114,03	1,81	65,79	1,91	48,24	1,17
Espacios Abiertos a Industrial	229,23	2,11	35,82	1,04	193,41	4,68
Cultivos a Industrial	176,94	3,10	67,14	1,94	109,8	2,65
Vegetacion Dispersa a Industrial	268,47	3,36	68,67	1,99	199,8	4,83
Espacios Abiertos a Urb Alta Densidad	697,95	7,95	288,00	8,34	409,95	9,91
Vegetacion Densa a Urb Alta Densidad	528,03	8,18	228,51	6,62	299,52	7,24
Vegetacion Densa a Urb Baja Densidad	648,27	11,10	280,62	8,13	367,65	8,89
Espacios Abiertos a Urb Baja Densidad	1580,22	16,22	579,87	16,80	1000,35	24,19
Vegetacion Dispersa a Urb Alta Densidad	1333,71	17,61	682,29	19,76	651,42	15,75
Vegetacion Dispersa a Urb Baja Densidad	2007,36	28,50	1151,37	33,35	855,99	20,70

Fuente: Elaboración propia.

Figura Nº 20 Variaciones en subperiodos 1989-1998; 1998-2007.



Fuente: Elaboración propia.

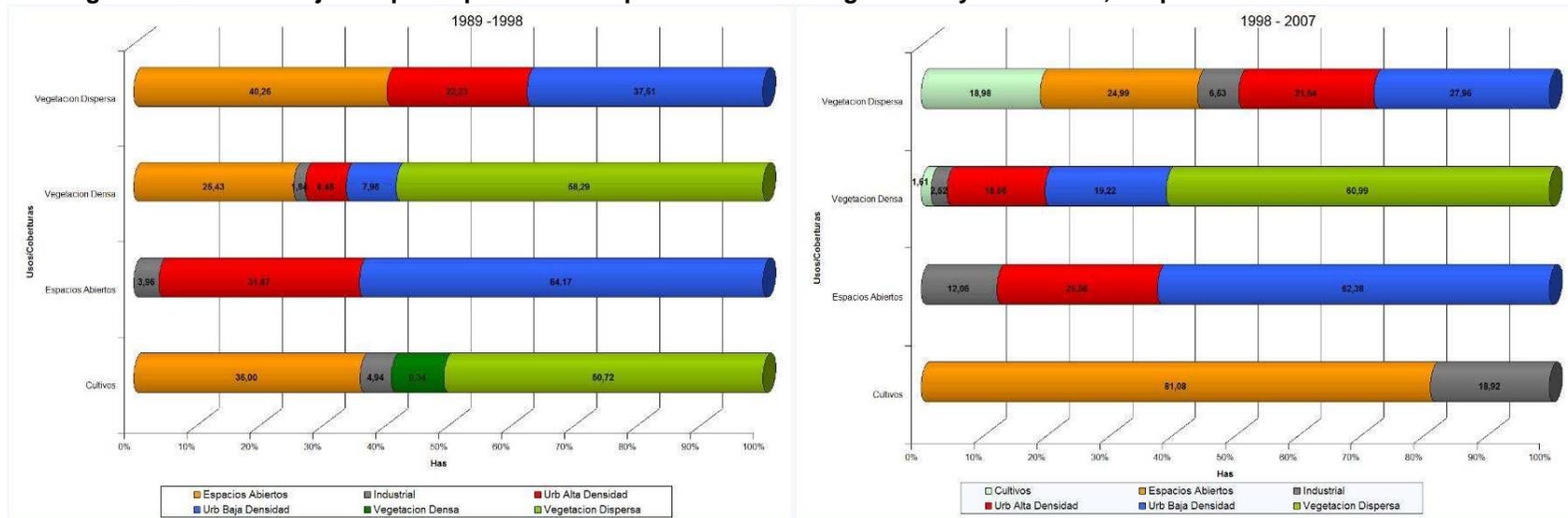
La cobertura de vegetación densa registra las mayores pérdidas netas en ambos subperíodos, superando las 3.500 Has para el subperíodo 1989-1998 y 2.000 Has entre 1998-2007 (figura N° 20). Caso disímil es de los espacios abiertos y de vegetación dispersa, que si bien registran pérdidas significativas, adquieren una mayor o igual cantidad de superficie (figura N° 20).

Dentro de los usos y coberturas urbanas (urbanización de baja densidad, de alta densidad e industrial), es la urbanización de baja densidad la que adquiere mayor cantidad de hectáreas en ambos subperíodos, siendo gran parte de ellas resultado de la conversión de coberturas de vegetación dispersa.

Analizando el crecimiento de los usos y coberturas urbanas, se logra apreciar durante estos subperíodos que éstos sustituyeron básicamente los espacios abiertos y de vegetación dispersa de igual forma que en el periodo 1989-2007, tanto en cantidad de hectáreas como en el porcentaje de participación en las pérdidas totales (figura N° 20 y 21).

Al observar las coberturas de espacios abiertos y de vegetación dispersa, se puede afirmar que los usos y coberturas que participan en las pérdidas totales de los primeros no varían entre los dos subperíodos (figura N° 21), La proporción en la cual participan los usos y coberturas que sustituyen a los espacios abiertos también son similares. En cambio, los usos y coberturas que participan en la sustitución de la vegetación son variables tanto en cantidad de participantes como también en proporción. La vegetación dispersa es principalmente sustituida por espacios abiertos y urbanización de baja densidad en el subperíodo 1989-1998. Para el siguiente subperíodo, la composición es más diversa y a su vez la participación en la sustitución es distinta ya que como se observa en la figura N° 21, la cobertura espacios abiertos deja de ser la mayor sustitución, pasando la urbanización de baja densidad a constituir el mayor causante de sustitución.

Figura Nº 21 Porcentajes de participación en las pérdidas totales según usos y coberturas, subperiodos 1989-1998: 1998-2007.



Fuente: Elaboración propia.

Si bien para ambos subperíodos el total de superficies que pasan a usos urbanos se concentran principalmente en las comunas de Quilpué, Valparaíso y Viña del Mar (tabla N° 12), se logra identificar en la figura N° 22 que estos cambios a nivel intracomunal son disímiles en cuanto a localización. Durante el subperíodo 1989-1998 en la comuna de Quilpué, es principalmente la vegetación dispersa la que cambia a usos y coberturas urbanas, en los sectores de Sol del Pacífico y al oeste de él. En el período 1998-2007 las mayores conversiones son de espacios abiertos y vegetación dispersa a urbanización de baja densidad, siendo su localización para este subperíodo los sectores al oeste de Sol del Pacífico y Paso Hondo.

**Tabla 12 Porcentaje de cambios a usos y coberturas urbanas, según comuna.**

Comunas	1989-1998	1998-2007	1989-2007
	%	%	%
Concon	8,17	7,21	7,65
Quilpue	17,58	18,56	18,10
Valparaíso	28,71	24,43	26,42
Villa Alemana	7,88	13,76	11,03
Viña del Mar	37,67	36,04	36,80

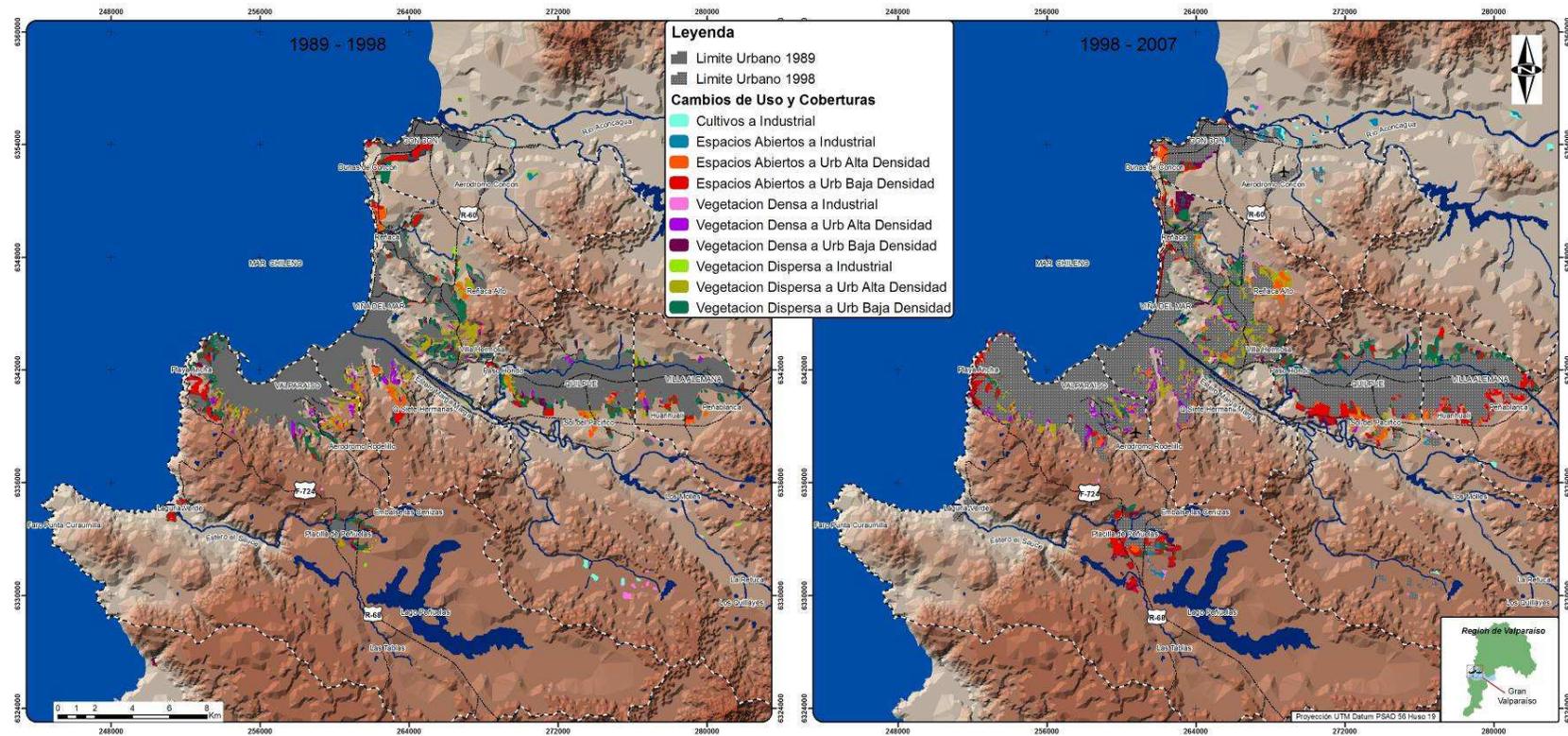
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la comuna de Valparaíso, durante el subperíodo 1989-1998 son las superficies cubiertas con espacios abiertos y vegetación dispersa las que se convierten a urbanización de baja densidad, y se localizan principalmente en los sectores circundantes al aeródromo Rodelillos y Playa Ancha (figura N° 22), mientras que para el siguiente subperíodo, el cambio de espacios abiertos a urbanización de baja densidad se produce primordialmente en el área de Placilla de Peñuelas.

En Viña del Mar los cambios de vegetación dispersa a urbanización de baja y alta densidad se ubican en los sectores de Villa Hermosa y Reñaca Alto (figura N° 22). En los sectores al oeste de la quebrada Siete Hermanas y Reñaca se registran principalmente cambios de espacios abiertos a urbanización de alta densidad. Comparando con el siguiente subperíodo (1998-2007), los sectores de Villa Hermosa y Reñaca Alto presentan el mismo patrón de cambio, desde vegetación dispersa a urbanización de alta densidad, agregando también superficies de espacios abiertos. En el sector de Reñaca el patrón de cambio es diferente al período anterior (1989-1998), ya que primordialmente se produce desde superficies de vegetación densa a urbanización de baja densidad y se localiza de forma paralela a la línea de la costa pero más al interior que en el subperíodo anterior.

En la comuna de Concón sus patrones de cambios de uso y coberturas de suelo en el subperíodo 1989-1998 se encuentran localizados en el sector sur en dirección hacia Viña del Mar. Los cambios principales son desde espacios abiertos y vegetación dispersa a urbanización de alta densidad, mientras que para el siguiente subperíodo éstos son desde espacios abiertos, localizándose al costado este del campo dunario.

Figura Nº 22 Cambios subperíodos 1989-1998; 1998-2007.

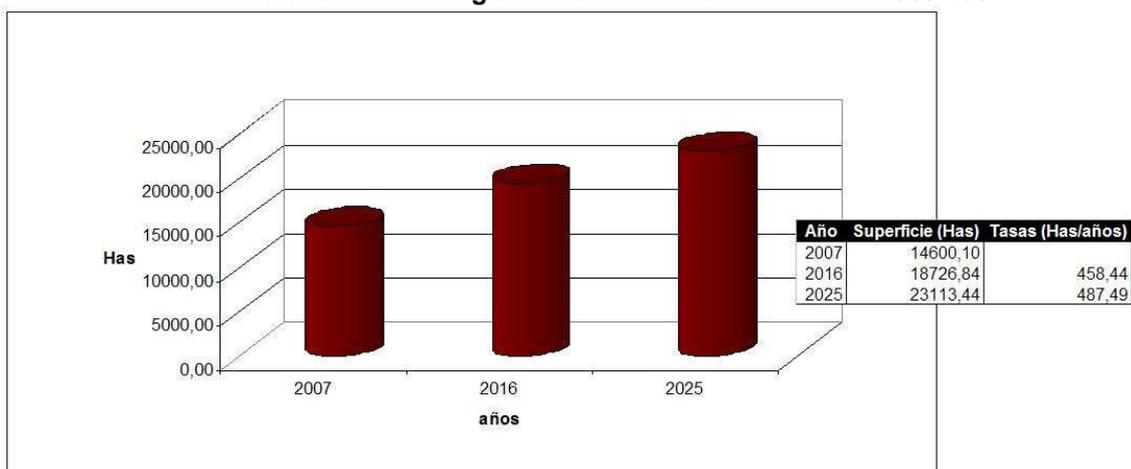


Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 Expansión urbana proyectada 2007-2025

La expansión urbana proyectada para el año 2025 considerando el crecimiento observado entre los años 1989-2007, proporciona un crecimiento constante (figura N° 23), pasando de alrededor de 14.000 Has a más de 23.000 Has estimadas, implicando una superficie 57 % mayor a la del año 2007.

**Figura N° 23 Proyección expansión urbana del Gran Valparaíso el año 2025 considerando el crecimiento observado o registro histórico observado entre 1989-2007.**

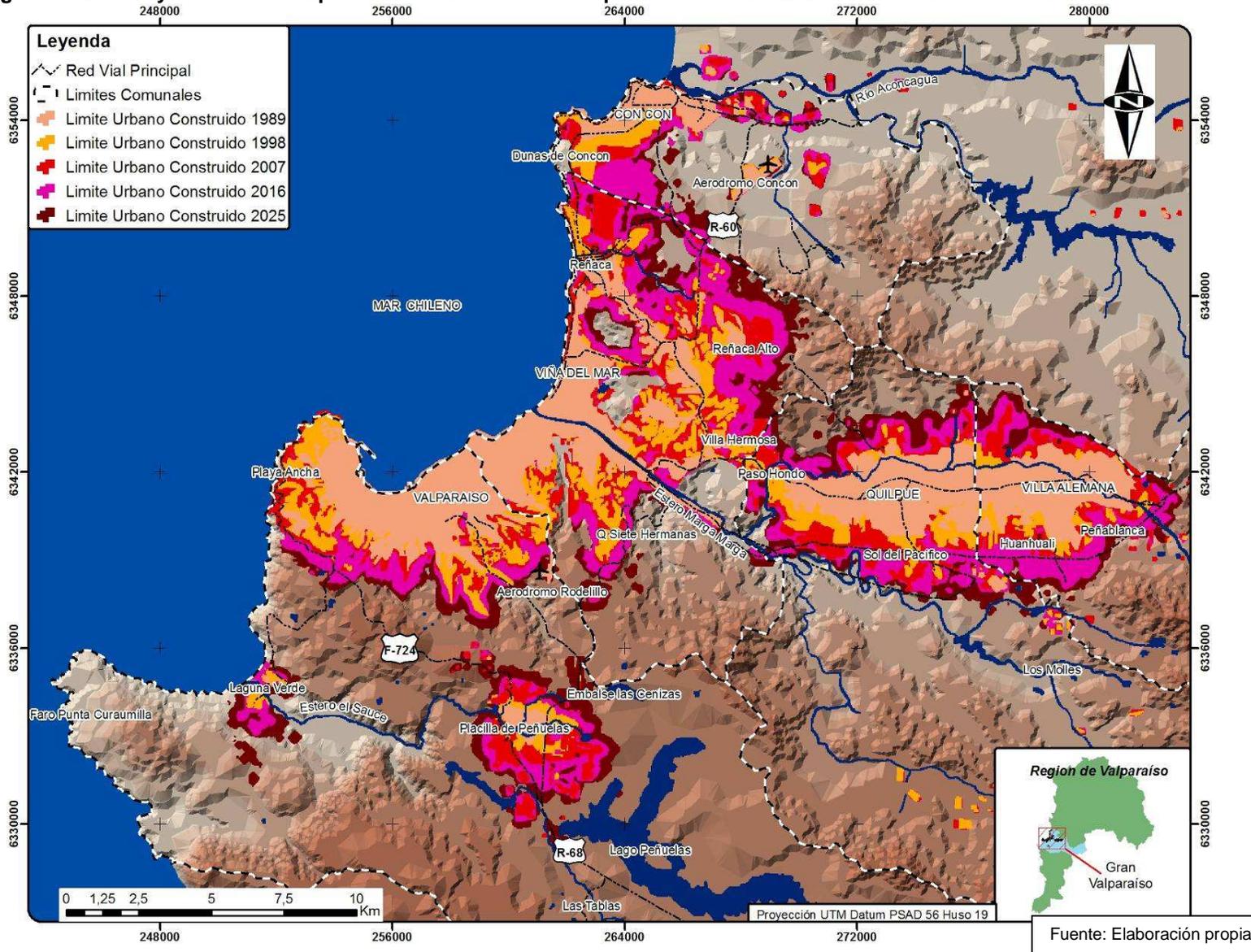


Fuente: Elaboración propia.

Esta expansión se encuentra principalmente localizada en la conurbación Quilpué – Viña del Mar y compromete el crecimiento de los sectores de Villa Hermosa y Reñaca Alto hacia el oeste, y por la conurbación Viña del Mar – Concón, la cual se da en dirección paralela a la línea de costa, pero con un ancho de franja mucho mayor a la registrada entre el periodo 1989-2007, ligada de igual forma a la red vial existente en la zona (Anexo 2).

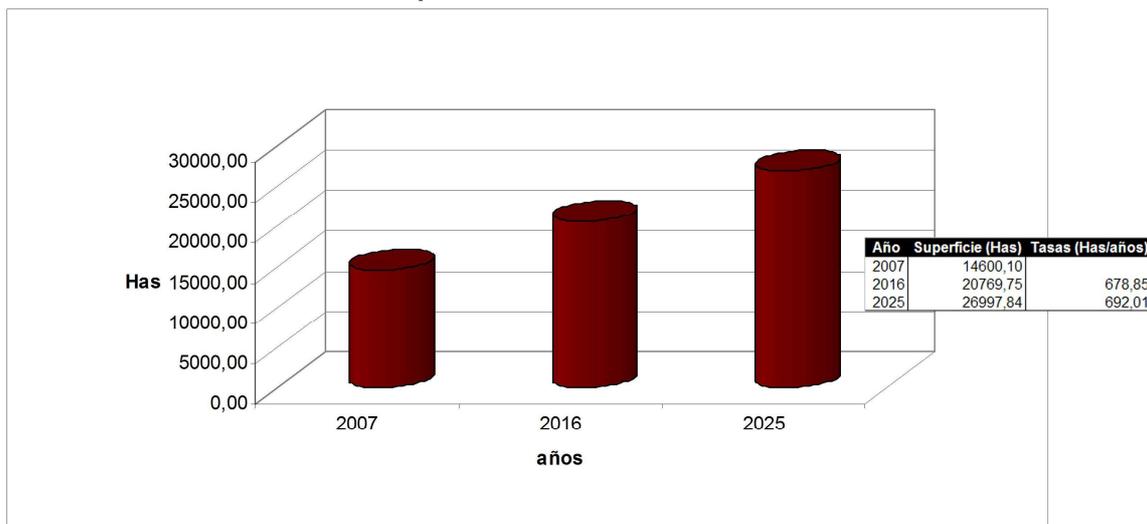
En la expansión urbana de la zona sur del Gran Valparaíso resalta el crecimiento del sector de Placilla de Peñuelas en dirección sur y el sector sur de Valparaíso, lo cual concuerda con el crecimiento por acreción ya mencionado en el periodo 1989-2007. Este patrón de crecimiento físico urbano también se puede encontrar en los sectores de expansión de Quilpué y Villa Alemana (figura N° 24).

Figura Nº 24 Proyección de la expansión urbana del Gran Valparaíso en el año 2025 considerando el crecimiento observado.



Al analizar el escenario de expansión que contempla la implementación del PREMVAL, se considera de igual forma un crecimiento espacial constante, pero de una mayor magnitud. Se estima que el sistema urbano se expandiría un 70% desde el año 2007 al año 2025 (figura N° 25), 13 puntos más que la estimación realizada en base al crecimiento al observado, lo cual también influye en las tasas de crecimiento (Has/año), alcanzando diferencias en promedio de 213 Has/año. En comparación con las estimadas de acuerdo al crecimiento observado o registro histórico.

**Figura N° 25 Proyección de la expansión urbana del Gran Valparaíso considerando la implementación del PREMVAL**

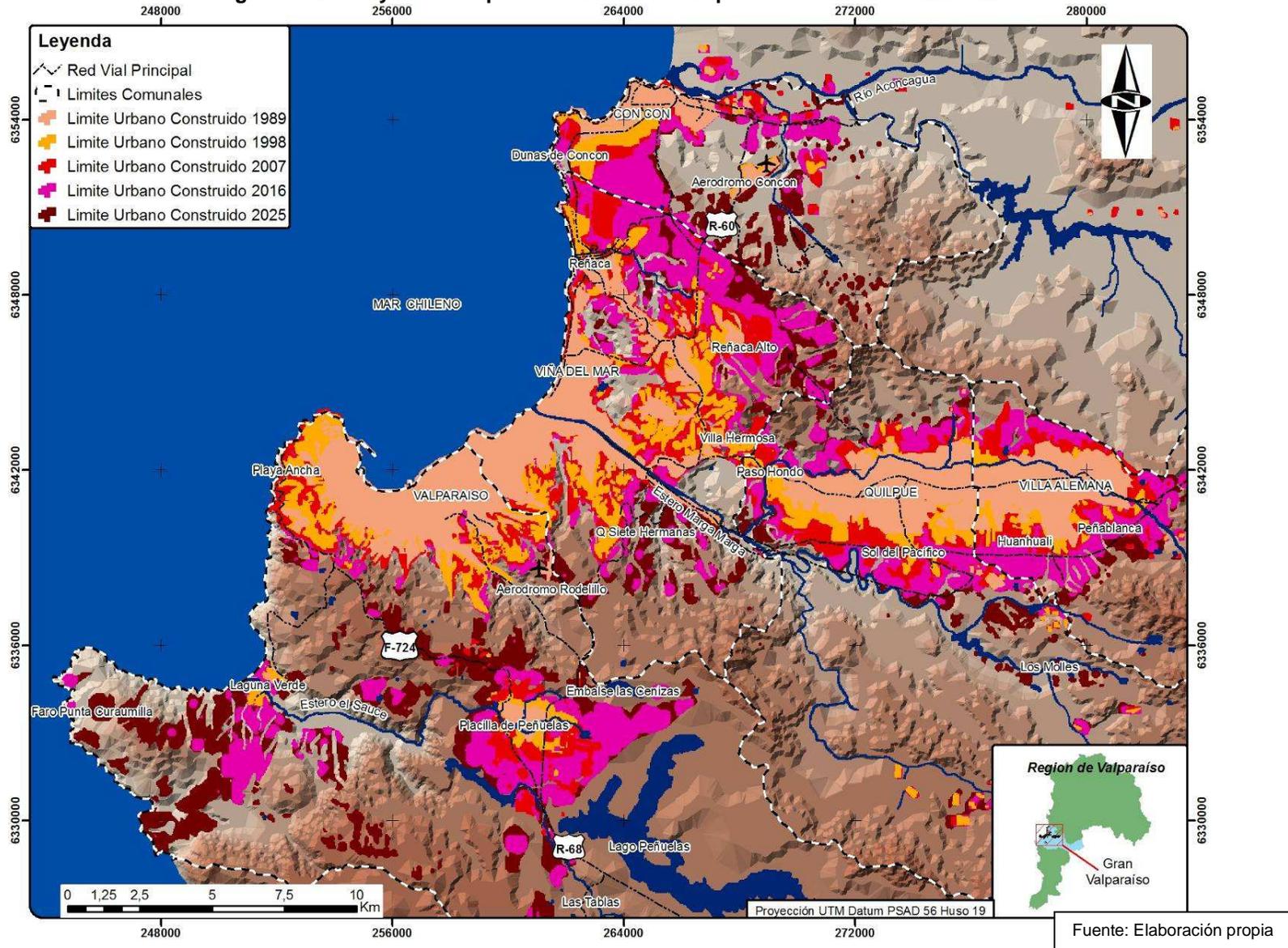


Fuente: Elaboración propia.

La expansión física del Gran Valparaíso que considera la implementación del PREMVAL (figura N° 26), indica una fuerte consolidación de la conurbación entre las ciudades de Quilpué – Viña del Mar y Viña del Mar – Concón, de una magnitud mayor a la proyectada en el escenario anterior, sobretudo en el sector ubicado al sur poniente y poniente del aeródromo de Concón. Otro patrón que durante el periodo 1989-2007 no se había apreciado con nitidez, así como tampoco en el escenario anterior, es que en varios sectores del Gran Valparaíso se produce una notoria expansión urbana de tipo aislado o también llamada “salto de rana”, apreciable principalmente en el sector de Curaumilla al oeste de Placilla de Peñuelas. Se formaría una nueva área urbana independiente de los sectores tradicionales de Placilla y Valparaíso, pero con características de densidad muy diferentes como se expondrá en párrafos posteriores. Además se proyectan algunas áreas menores entre estas áreas urbanas mayores. Este fuerte proceso de expansión urbana con características aisladas, también está en cierta forma relacionado con las áreas de restricción observadas en el Anexo N° 3, que incluye áreas de restricción ecológicas y preferentemente agrícolas, definidas así por el PREMVAL, patrón que también es observado en el sector de la quebrada Siete Hermanas.

Además se distingue la expansión del área urbana de Placilla de Peñuelas principalmente con dirección nororiente hacia el Embalse Las Cenizas y al norte de Placilla, con una expansión urbana en forma tentacular y vinculada con el eje vial F-724.

Figura Nº 26 Proyección expansión urbana con implementación del PREVAL.



La mayor expansión del Gran Valparaíso propuesta por el PREMVAL se encuentra muy ligada a las condiciones de edificación que se plantean en algunas de las zonas, como se puede apreciar en la figura N° 27, que muestra la subdivisión predial mínima y la densidad máxima de habitantes por hectáreas. Existen varias zonas con características muy expansivas y asociadas con urbanizaciones de baja densidad como parcelas de agrado o condominios de agrado en sectores como Curaumilla, al noreste de Paso Hondo y quebrada Siete Hermanas, principalmente.

La zona de expansión ubicada en el sector de Curaumilla es una de las de mayor superficie, como se aprecia en la figura N° 27. Se trata de un área que tiene como normas de edificación una subdivisión predial mínima de 5000 m<sup>2</sup> y de no más de 30 habitantes por hectárea, lo cual debe estar ligado probablemente a la potencialización del establecimiento de parcelas de agrado. El sector de Curaumilla, se transformaría según las estimaciones de crecimiento en un área urbana independiente en términos físicos de la ciudad de Valparaíso, probablemente con características similares a lo que son Chicureo o Piedra Roja en la Región Metropolitana. Mientras tanto, zonas de menor subdivisión predial y mayor densidad poblacional (por ejemplo zonas de 300 has y 280 hab/has) no ocupan la totalidad de las zonas de expansión propuestas, las cuales están ligadas a urbanizaciones de alta densidad.

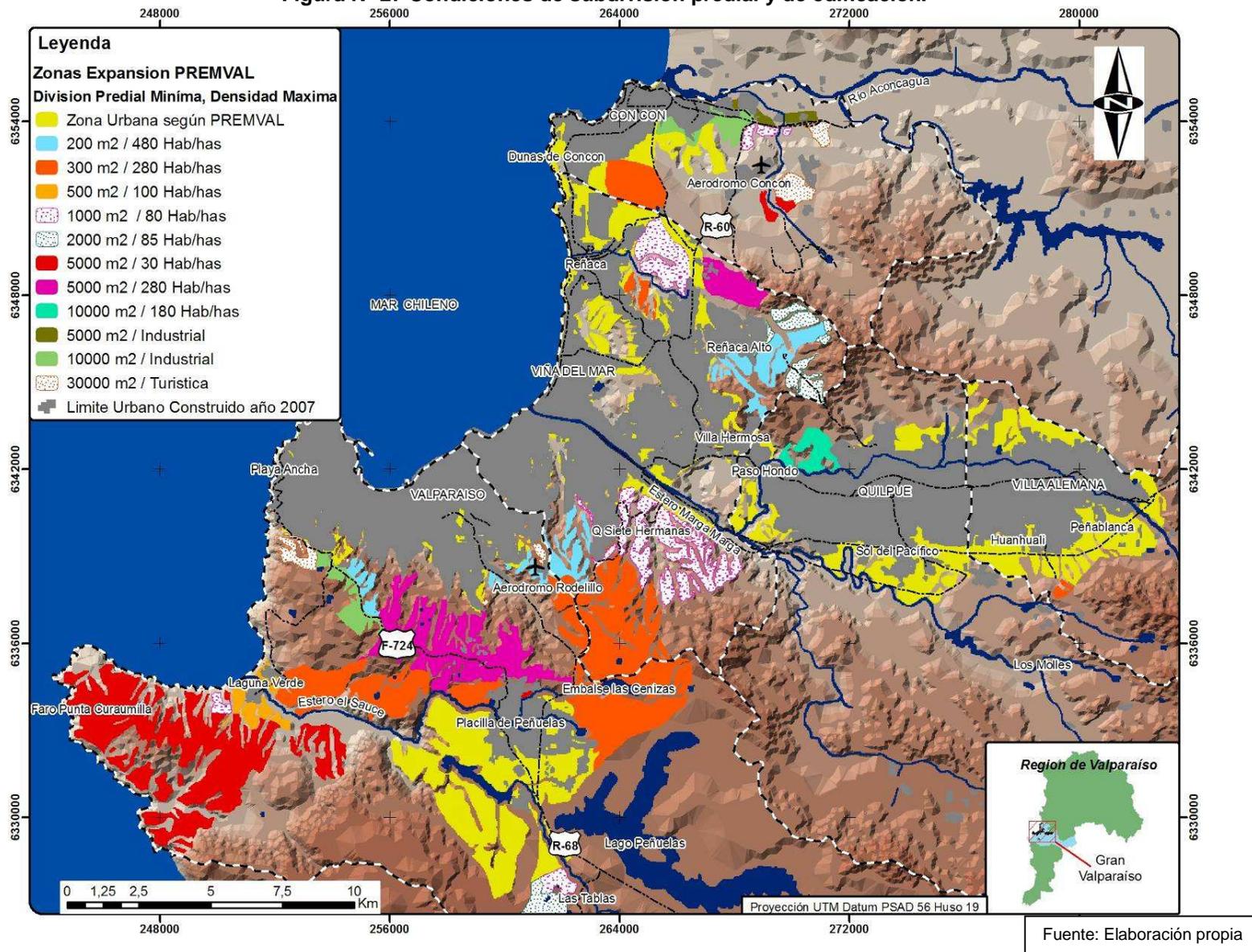
Algunas de estas áreas de mayor densidad poblacional y menor subdivisión predial mínima, localizadas en el sector de Reñaca Alto (por ejemplo 300 has y 480 hab/has), están asociadas con urbanizaciones de alta densidad, ligadas a grupos de nivel socioeconómico bajo, mientras que zonas también con características similares de alta densidad poblacional y bajas subdivisiones prediales mínimas, como es el caso de las áreas de 300 has y 280 hab/has (figura N° 27) pueden estar ligadas a niveles socioeconómicos más altos y a urbanizaciones ya consolidadas como las ubicadas al este de las dunas de Concón, como se puede apreciar en la imagen 3.

**Imagen 3 Viviendas al este de las dunas de Concón**



Fuente: Tomada en terreno julio 2009.

Figura N° 27 Condiciones de subdivisión predial y de edificación.



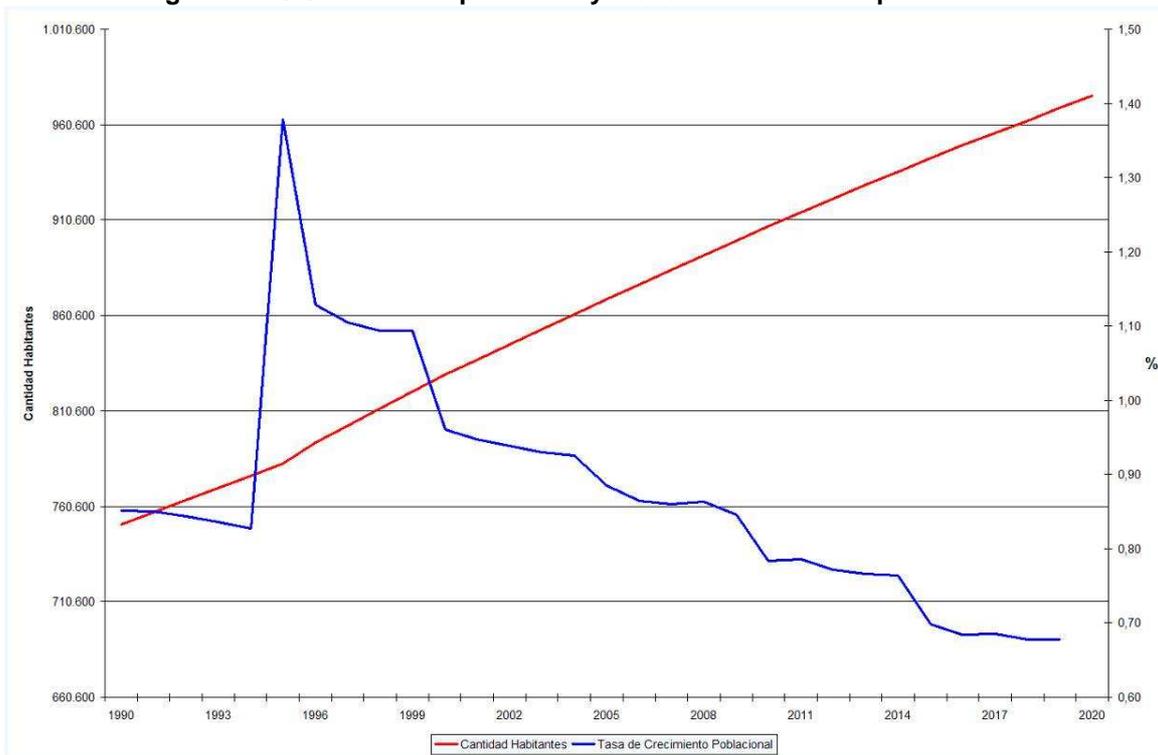
Cabe considerar los argumentos expresados tanto por autoridades como por empresarios, ligados al área de estudio, y que están en concordancia con las estimaciones de expansión anteriormente mencionadas, debido a las altas expectativas de expandir la ciudad de Gran Valparaíso. Es así como César Barra, Ex Seremi MINVU Región de Valparaíso, ha señalado a distintos medios de comunicación (El Mercurio 18 de agosto de 2008; [www.elinmobiliario.cl](http://www.elinmobiliario.cl) 15 de Septiembre de 2008; El Mercurio de Valparaíso 13 de enero de 2008) que "El instrumento de planificación (PREMVAL) reemplaza al plan vigente, elaborado en 1965 y **establece que en los próximos 30 años** esta zona podrá albergar hasta 2 millones 820 mil personas (actualmente 876.022 habitantes), **aumentando el área urbana** de 20.178 a 39.601 hectáreas".

En tanto, el Presidente Regional de la Cámara Chilena de la Construcción, Vicente Martínez, manifestó en relación con la aprobación del PREMVAL que "todos los instrumentos son perfectibles y es bueno que así sea, pero ahora lo importante es concentrarse en sacar adelante cuanto antes el nuevo Plan Regional Metropolitano de Valparaíso, porque es urgente dar las respuestas que el desarrollo urbano y el crecimiento poblacional de la zona necesitan" (fuente: El Mercurio de Valparaíso miércoles 14 de mayo de 2008).

Ambas citas manifiestan la intención de urbanizar rápidamente las áreas propuestas en el Plan Intercomunal, debido a las necesidades de la población es mas Vicente Martínez agrega en la misma entrevista que "la **población está creciendo a pasos acelerados**, como lo demuestran los estudios de la propia Seremi, y en algunas comunas hay demasiadas trabas para construir. Por lo tanto, hay una comunidad que demanda viviendas y servicios, ciudades que necesitan terreno para crecer y un **sector empresarial que tiene que planificar inversiones** de largo plazo para satisfacer esa demanda y que necesita reglas claras para poder hacerlo bien".

Sin embargo, según estimaciones del INE (al 30 de junio del 2009), las tasas de crecimiento poblacional son cada vez menores (aunque la población tiene un crecimiento numérico constante), como se aprecia en la figura N° 28, lo cual no concuerda con las afirmaciones mencionadas anteriormente. El Gran Valparaíso como otras ciudades de Chile tiende a que su población no tenga un fuerte crecimiento poblacional, sino mas bien tienda a envejecer (Programa Interdisciplinario de Estudios Gerontológicos, Universidad de Chile, 2009).

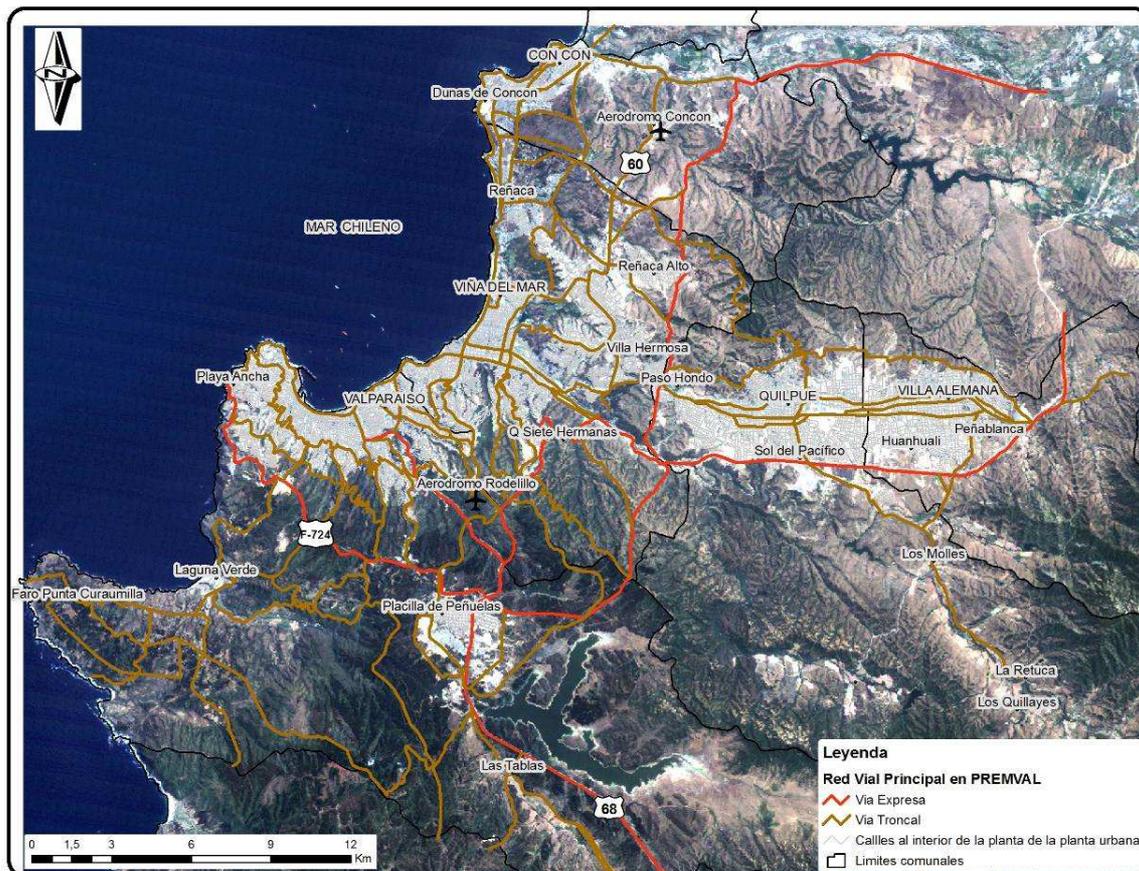
Figura N° 28 Crecimiento población y tasas de crecimiento poblacional



Fuente: Elaboración propia en base a INE, 2009.

Por otro lado, cabe agregar que la red vial estructurante propuesta por el PREMVAL (figura N° 29), la cual es bastante mayor a la existente (Anexo 2 ) ofrece una mayor conectividad entre las ciudades pertenecientes a la conurbación, sobre todo en el área al suroeste de Laguna Verde, que corresponde al sector de expansión de Curaumilla. Como se ha mencionado esta última está ligada a parcelas de agrado. Asimismo en la figura N° 29 se aprecia una mayor conectividad en el sector este de la comuna de Concón. Ambas zonas de expansión deberían estar con mayor conectividad vial con las áreas urbanas ya consolidadas al año 2007, según lo planteado en el PREMVAL, configurando una compleja red de conectividad entre las ciudades costeras del Gran Valparaíso (Valparaíso, Viña del Mar, Concón).

Figura Nº 29 Mapa red vial estructurante propuesta en PREMVAL.

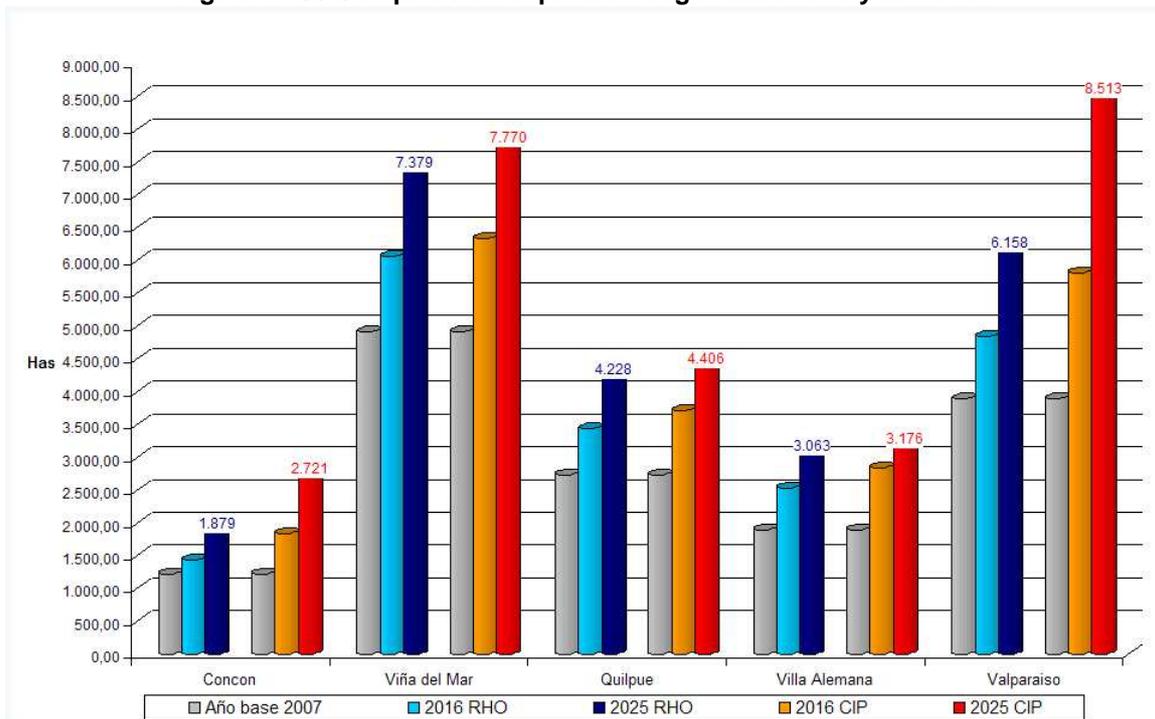


Fuente: Elaboración propia.

Las estimaciones de expansión urbana difieren en las concentraciones a nivel comunal según se trate del escenario realizado en base al crecimiento observado entre 1989-2007 o al que considera la implementación del PREMVAL. En el primer escenario, la expansión se encuentra principalmente en las comunas de Viña del Mar y Valparaíso, especialmente en la primera de ellas (figura Nº 30).

En cambio en el escenario que considera la implementación del PREMVAL, la expansión se concentra de igual forma en ambas comunas (Viña del Mar y Valparaíso), pero con una mayor magnitud en la comuna de Valparaíso, superando las estimaciones del primer escenario, en la cual el crecimiento físico del área urbana es mucho mayor bajo el escenario que contempla la implementación PREMVAL, que en él realizado en base al crecimiento observado o registro histórico, Analizando la figura Nº 30 se observa que la diferencia en la expansión estimada para el año 2025 es de más de 2.000 has en la comuna de Valparaíso, claramente ligada a las zonas de expansión planteadas por el PREMVAL, particularmente de aquellas ubicadas hacia Punta Curaumilla.

**Figura N° 30 Comparación expansión según escenario y comuna.**



Fuente: Elaboración propia.

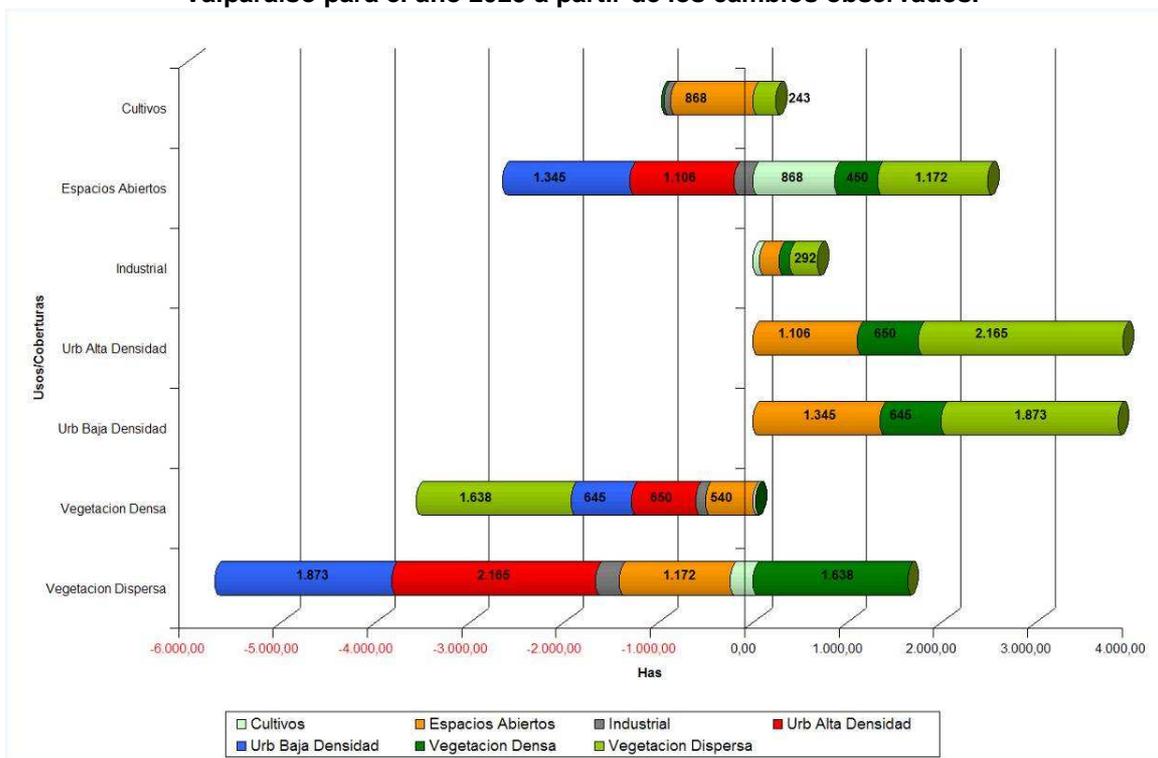
En las comunas de Quilpué y Villa Alemana se logró estimar que si bien sus áreas urbanas tienen un constante crecimiento físico, las diferencias entre los escenarios son mínimas (de 178 has; 113 has respectivamente) pero de igual forma son mayores en los escenarios que consideran la implementación del PREMVAL.

La comuna de Concón, a pesar de tener la menor área urbana estimada en ambos escenarios, presentaría un crecimiento mucho mayor en el escenario que considera la implementación del PREMVAL. Su tasa de expansión (has/año) para el año 2025 sería de 98,3 has/año, casi triplicando el área urbana existente para el año 2007 y superando en casi 1.000 has. el área estimada en el escenario realizado en base al crecimiento observado.

#### 4.5 Cambios de uso y cobertura proyectados

Los cambios de usos y coberturas de suelos que han sido simulados al 2025 a partir del crecimiento observado o registro histórico, y que registrarían pérdidas en el período son cultivos, vegetación densa, espacios abiertos y vegetación dispersa (figura N° 31). La vegetación densa presenta una tendencia de pérdida permanente similar a la registrada en el periodo 1989-2007, mientras que los cultivos y la vegetación dispersa, alcanzan pérdidas menores. Sus pérdidas se ven levemente aminoradas por reemplazar a la vegetación dispersa o vegetación densa respectivamente (figura N° 31). Caso distinto es de la cobertura espacios abiertos la cual tiene casi tantas ganancias como pérdidas durante este periodo simulado

**Figura N° 31 Proyección de la variación de usos y coberturas de los suelos del Gran Valparaíso para el año 2025 a partir de los cambios observados.**

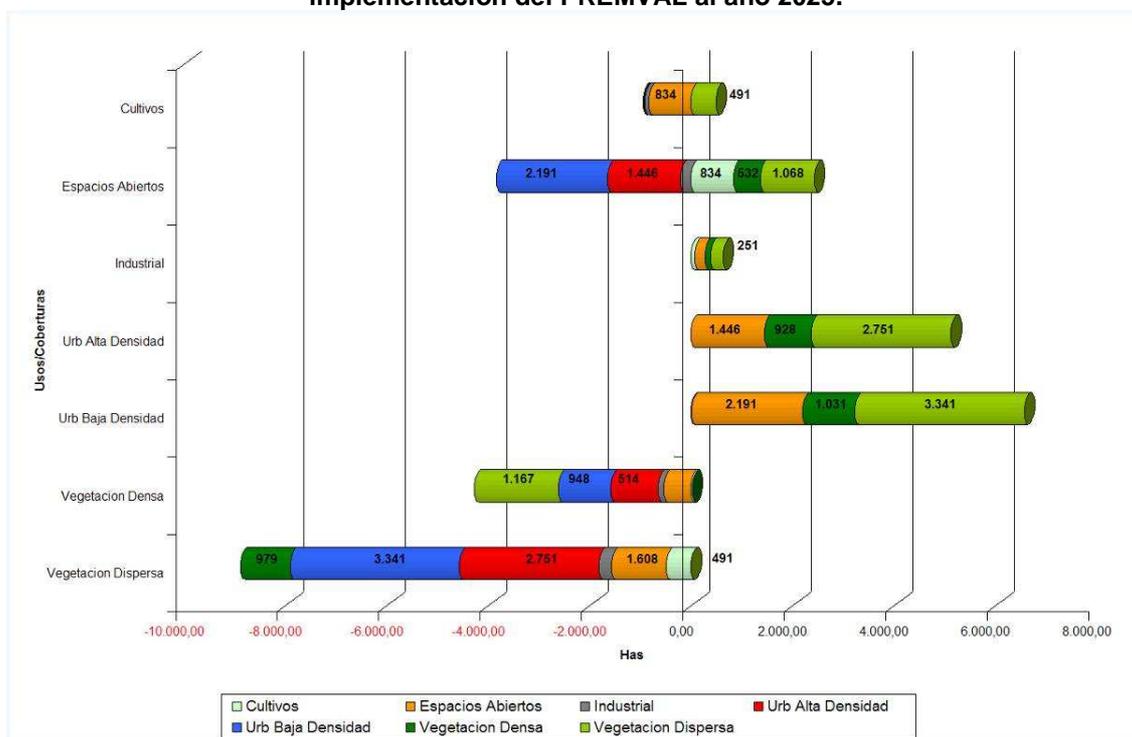


Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la figura N° 31, que representa la estimación de la variación de usos y coberturas entre 2007 y 2025 considerando las tendencias observadas, se observa que los patrones de reemplazo de coberturas naturales o seminaturales por usos y coberturas urbanas (urbanización de alta y baja densidad e industrial) son similares a los observados entre 1989-2007, sustituyendo principalmente a las coberturas de vegetación dispersa, seguido de espacios abiertos y menormente de vegetación densa.

Al analizar las variaciones de los usos y coberturas de suelos simulados entre los años 2007 y 2025 sobre la base de la implementación del PREMVAL, se reconoce que las coberturas de cultivos, espacios abiertos, vegetación densa y vegetación dispersa experimentan también pérdidas, manteniendo a la cobertura vegetación densa como la más afectada por la urbanización (figura N° 32).

**Figura N° 32 Proyección de la variación de usos y coberturas en escenario que considera la implementación del PREMVAL al año 2025.**



Fuente: Elaboración propia.

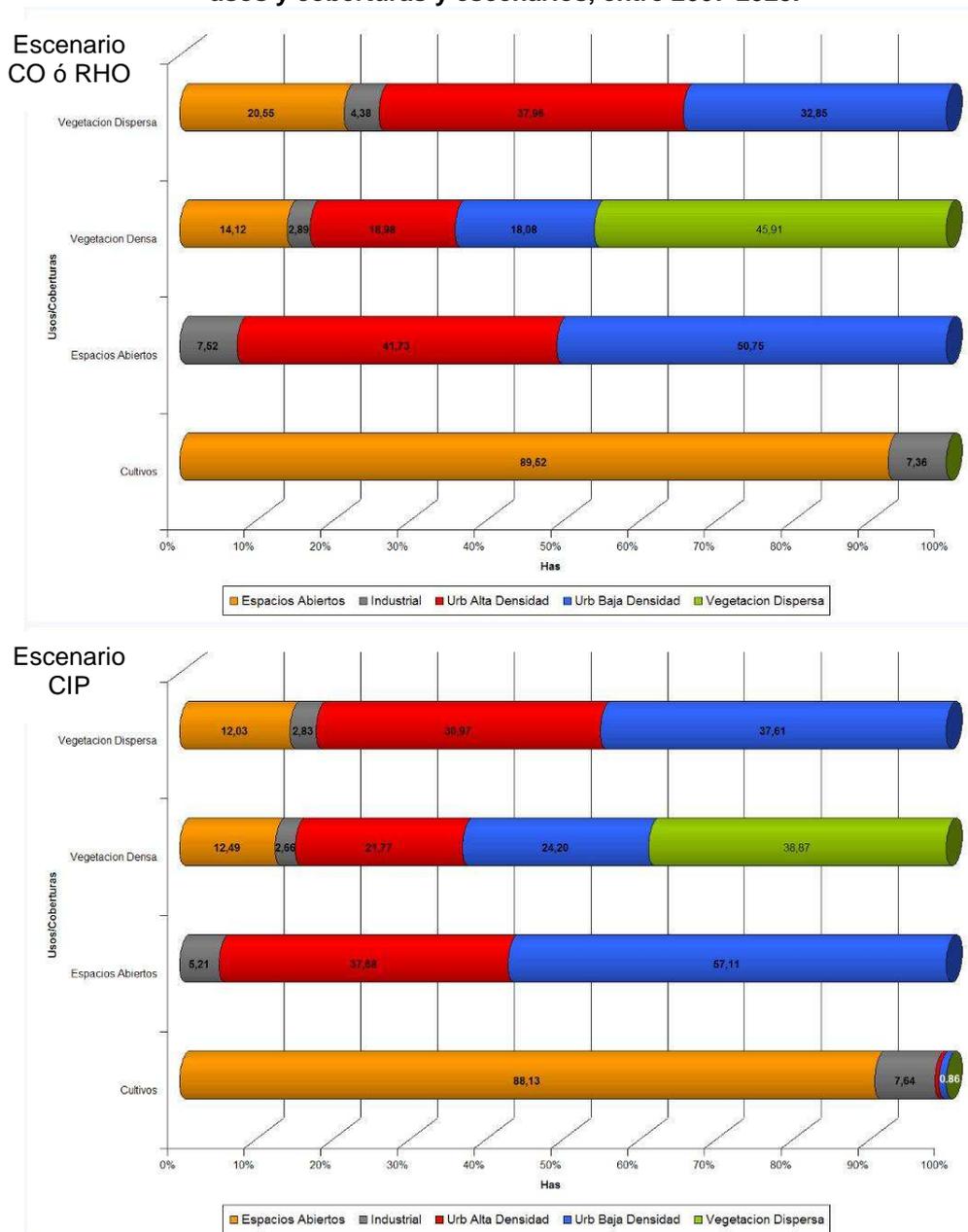
Los patrones de reemplazo de coberturas naturales y seminaturales por usos y coberturas urbanas son similares a los correspondientes a los escenarios que resultan de proyectar los cambios observados. La mayor sustitución afecta a la vegetación dispersa, seguida por los espacios abiertos y siendo menor en el caso de la vegetación densa. En este último caso se logra apreciar que en este escenario es donde la urbanización de baja densidad es la que sustituye en mayor forma a esta última cobertura (figura N° 32). En comparación con el escenario realizado considerando el crecimiento observado, en éste el reemplazo de la vegetación densa es mas bien parejo por parte de la urbanización de alta y baja densidad, con un leve mayoría de la primera, pero que no alcanza a ser de más de 5 Has., En cambio, en el escenario que considera la implementación del PREMVAL la diferencia se acentúa a favor de la urbanización de baja densidad en más de 100 Has.

Si bien los patrones de reemplazo son similares en ambos escenarios, su magnitud es distinta, donde visiblemente es en el escenario que considera la implementación del PREMVAL genera mayores cambios, como se puede apreciar al analizar las figuras N° 31 y 32. La urbanización de baja densidad ocupa 1873 Has. de coberturas de vegetación dispersa siguiendo las tendencias observadas y 3.341 Has. bajo el escenario que considera la implementación del PREMVAL. Algo similar sucede con el reemplazo de los espacios abiertos, lo cual influye notoriamente no solo en la cantidad de hectáreas perdidas, sino también en las superficies que disminuyen entre un escenario y otro.

La figura N° 33 señala que los porcentajes de participación en los cambios de los diferentes usos y coberturas de los suelos se mantienen muy parecidos entre ambos escenarios. El cambio más significativo se encuentra en los porcentajes de pérdida de la

vegetación dispersa, cuyo reemplazo por espacios abiertos disminuye 8%, de igual forma que la urbanización de alta densidad que disminuye su participación porcentual en 7%, abriéndole paso a la urbanización de baja densidad, que sube en 5%.

Figura Nº 33 Proyección de los porcentajes de participación en las pérdidas totales según usos y coberturas y escenarios, entre 2007-2025.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Localización de los cambios de usos y coberturas proyectados

Al analizar las diferencias en la localización de los cambios de usos y coberturas más significativos en términos numéricos según escenarios, tenemos varios posibles cambios en los patrones de localización. El cambio de vegetación dispersa a urbanización de alta densidad, se concentra en las comunas de Valparaíso y Viña del Mar bajo los escenarios que contemplan la implementación del PREMVAl (tabla 13). Este gran aumento de superficies ocupadas por la ciudad de Viña del Mar está ligada a la zona de expansión del sector de quebrada Siete Hermanas. La alta concentración del cambio de vegetación dispersa a urbanización de alta densidad en la comuna de Valparaíso, se encuentra relacionada con el crecimiento físico del sector de Placilla de Peñuelas en el escenario basado en el crecimiento observado o registro histórico. En cambio, en el escenario que contempla la implementación del PREMVAl se estima de mayor preponderancia el crecimiento de los sectores de Curaumilla y área sur de Laguna Verde (Figura N° 34)

El reemplazo de vegetación dispersa a urbanización de alta densidad, en la comuna de Valparaíso, pasa de un 31.12% en el escenario realizado bajo el crecimiento observado, a un 51.13% en el escenario que contempla el PREMVAl (Tabla 13). Valparaíso sería la comuna que concentraría principalmente este tipo de reemplazo, en comparación con la comuna de Viña del Mar, en que disminuye la concentración de este cambio. El aumento de este cambio (vegetación dispersa a urbanización de alta densidad) en la comuna de Valparaíso está ligado a la expansión hacia el este de Placilla de Peñuelas en dirección al embalse Las Cenizas (figura N° 34).

**Tabla 13 Proyección de cambios de usos de coberturas, según escenarios y comuna, periodo 2007-2025.**

Comuna	Vegetación dispersa a urbanización de baja densidad		Espacios Abiertos a urbanización de baja densidad		Vegetación densa a urbanización de baja densidad	
	Escenario RHO	Escenario CIP	Escenario RHO	Escenario CIP	Escenario RHO	Escenario CIP
	Concon	3,71	7,50	25,33	23,29	10,80
Quilpue	23,18	12,43	1,97	1,12	24,83	13,05
Valparaiso	42,17	47,37	21,46	27,61	41,17	45,94
Villa Alemana	17,75	10,66	32,43	18,63	3,83	1,86
Viña del Mar	13,19	22,03	18,82	29,37	19,37	33,78

Comuna	Vegetación dispersa a urbanización de alta densidad		Espacios abiertos a urbanización de alta densidad		Vegetación densa a urbanización de alta densidad	
	Escenario RHO	Escenario CIP	Escenario RHO	Escenario CIP	Escenario RHO	Escenario CIP
	Concon	1,70	12,33	5,33	26,47	5,04
Quilpue	22,79	22,09	11,53	13,65	9,71	5,92
Valparaiso	2,60	2,86	6,21	15,11	37,82	52,80
Villa Alemana	18,01	20,23	15,98	13,19	1,26	3,29
Viña del Mar	54,90	42,59	60,95	31,59	46,17	25,63

Fuente: Elaboración propia.

El reemplazo de espacios abiertos por urbanización de baja densidad, aumenta significativamente en las comunas de Valparaíso y Viña del Mar en el escenario que contempla la implementación del PREMVAl, en comparación con la disminución en la participación a nivel comunal de este tipo de reemplazo a la comuna de Villa Alemana

(Tabla 13). Este aumento en las comunas de Valparaíso y Viña del Mar se encuentra ligado a los sectores de Curaumilla y noreste de Reñaca respectivamente (Figura N° 34).

La comuna de Viña del Mar concentra más del 60% de la sustitución de espacios abiertos por urbanización a partir del crecimiento observado, cambiando drásticamente esta distribución en el escenario que considera la implementación del PREMVAL (tabla 13), en el cual las comunas de Concón y Valparaíso aumentan significativamente, localizados en los sector este de las Dunas de Concón y suroeste de la comuna de Valparaíso, encontrándose este último mas disperso (figura N° 34).

La diferencia más significativa se encuentra en el reemplazo de la vegetación densa por urbanización de baja densidad en la comuna de Viña del Mar dónde pasa desde un 19.37% en el escenario en base al crecimiento observado, a un 33.78% en el escenario CIP (tabla 13), que se localiza en la zona de expansión propuesta por el PREMVAL en el sector de la quebrada Siete Hermanas. En la comuna de Valparaíso en ambos escenario este tipo de reemplazo se concentra espacialmente en el sector sur de Placilla de Peñuelas (Figura N° 34).

Por último en el reemplazo de vegetación densa por urbanización de alta densidad, es la comuna de Valparaíso la que concentra en ambos escenarios este tipo de cambio, pero sobretodo en el escenario que considera la implementación del PREMVAL. En el escenario realizado bajo el crecimiento observado esta sustitución se localiza en los sectores circundantes de la ciudad de Valparaíso, principalmente ligado como muestra la Imagen 4 a la vegetación ubicada en las partes altas de las cuencas costeras. En el escenario que considera la implementación del PREMVAL este reemplazo se produce principalmente en el sector al sur del embalse Las Cenizas y al norte del sector denominado Las Tablas (figura N° 34).

**Imagen 4 Vista desde Cerro la Cruz hacia el suroeste, Valparaíso.**



Fuente: Tomada en terreno julio 2009.



## **CAPITULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **5.1 Discusión**

A partir de este análisis y de la metodología realizada, queda demostrado que la expansión urbana del Gran Valparaíso se encuentra en pleno desarrollo, teniendo tasas de crecimiento cada vez mayores, proceso de expansión que igual como señala Romero *et al* (2007) y Henríquez *et al* (2006a; 2006b), ha reemplazado y reemplazará progresivamente mayores cantidades de terrenos ocupados anteriormente por coberturas vegetales naturales o seminaturales.

Esta progresiva expansión física del área urbana del Gran Valparaíso, registrada y proyectada en esta investigación, se ve complementada por lo señalado por De Mattos (2001), donde el rasgo más característico de la reactivación del crecimiento metropolitano en esta nueva etapa económica capitalista en que se encuentra de Chile, es que profundiza el “continuo desborde de los límites urbanos”. En el Gran Valparaíso este proceso se encuentra en pleno desarrollo e incluso sus instrumentos de planificación territorial, propuestos por el estado, favorecen la profundización de este proceso, Ello se relaciona con lo señalado por Henríquez (2009) en que no sólo las proposiciones por parte de privados favorecen la expansión urbana, sino incluso las proposiciones gubernamentales pueden llegar a ser abiertamente contrarias a un desarrollo urbano sustentable.

Estudios realizados por Vásquez *et al* (2008), reafirman el pensamiento de que los instrumentos de planificación provenientes del estado, no restringen sino profundizan la metropolización expandida señalada por De Mattos (2001), y la formación de ciudades con patrones tipo archipiélagos como los denomina De Mattos (2001), y que son identificables en este estudio en los escenarios futuros que contemplan la implementación del PREMVAL.

También ligado a la profundización del proceso, se observa que los patrones de reemplazo de los usos y coberturas de los suelos determinados en la presente investigación se ven agudizados por la implementación del PREMVAL, concordando con lo señalado en los primeros párrafos de esta discusión, sobre que no es un proceso nuevo sino una profundización de él.

Siguiendo con la idea de la profundización del proceso, los patrones de reemplazo indican que la expansión urbana sustituirá principalmente coberturas de vegetación dispersa, siguiendo con los espacios abiertos y finalizando por la vegetación densa, teniendo una mayor magnitud estos patrones en el escenario que contempla la implementación del PREMVAL. En relación a los patrones de localización algunos de estos se verían modificados en los escenarios que contemplan al implementación del PREMVAL, esto se encuentra relacionado con la disponibilidad de espacios a nivel comunal para urbanizar. Es por esto que las comunas de Valparaíso y Concón son las más atractivas para crear áreas de expansión.

Fuertemente ligado a lo anteriormente mencionado se encontró que los patrones de reemplazo y localización de los usos y coberturas urbanas del Gran Valparaíso tienen

muy marcadamente sus tendencias tanto en el análisis retrospectivo o histórico como también en los escenarios futuros, de forma parecida a lo determinado por Molina (2007), la cual identifico dos patrones de reemplazo bien definidos en el proceso de expansión urbana de el área Metropolitana de Santiago, en términos de sus áreas de reemplazos y tasas de crecimiento, los cuales dependían de la densidad de urbanización.

Se ratifica la intensiva ocupación del borde costero entre Valparaíso y Concón, identificando una mayor magnitud de urbanización que lo señalado por Brignardello y Castro (1998). A ello se debe agregar la incorporación de una expansiva ocupación del borde costero en los sectores de Curaumilla y Laguna Verde bajo el escenario que contempla la implementación del PREMVAL.

Se determina que el borde costero de Reñaca y suroeste de Concón se encuentran en un fuerte proceso de expansión asociado a edificios de altura con características turísticas y segundas residencias, las cuales están asociadas como señala Brignardello y Castro (1998) a una presión antrópica temporal, principalmente en verano, lo que conlleva a un colapso de los sistemas urbanos, sobretodo vial, teniendo por el otro lado una subutilización del suelo en temporada invernal. Esta fuerte expansión urbana sobre el borde costero entre Reñaca y Concón, sería progresivamente mayor en el escenario que contempla la implementación del PREMVAL, lo cual genera una gran incertidumbre sobre los impactos que tendrían estas nuevas áreas urbanas, tanto sobre los sistemas urbanos como naturales.

El modelo de simulación de cambios de uso y cobertura de suelo aporta a la presente investigación lo que Henríquez *et al* (2006b), señala como la necesidad de representar eficazmente la magnitud, localización y los patrones de expansión de las ciudades. En ambos escenarios se determinó la dimensión y localización de estos procesos a futuro, representando eficazmente la expansión urbana.

Además se logró reflejar patrones espaciales y temporales como emplazamiento, distribución, estructura y dirección de los cambios producidos tanto retrospectivamente y en ambos escenarios futuros tal como lo señalan Henríquez y Azócar, 2007; Aldana y Bosque Sendra, 2008; Bocco *et al*, 2001; Henríquez *et al*, 2006 y López y Bocco, 2006., como resultado de una investigación de cambios de uso y cobertura de suelo.

Dentro de las limitaciones del modelo de simulación de cambios de usos y coberturas, utilizado en la presente investigación, se encuentra las cantidades de celdas de cambio, obtenidas mediante el método de cadenas de Markov. Este modelo determina las probabilidades y cantidad de celdas de cambio mediante solamente el análisis interno del sistema, sin tener en cuenta las variables explicativas y descriptivas, ya que se basa exclusivamente en el análisis de la dinámica interna del sistema. En consecuencia, se han incorporado variables como los instrumentos de planificación, proyectando escenarios que consideran la implementación del PREMVAL. Para ello se debió adaptar el método mediante la consideración de las nuevas áreas, más las probabilidades obtenidas mediante las cadenas de Markov.

La utilización de las denominadas imágenes de aptitud para cada uso o cobertura de suelos, en el presente estudio, dieron un excelente, pero mejorable, resultado que permitió complementar la espacialización realizada mediante los autómatas celulares, evitando así secuencias ilógicas en las proyecciones de los proceso de cambio. También

fueron un gran aporte al forzar la expansión hacia las áreas propuestas en el instrumento de planificación territorial en cuestión.

Como ya hemos mencionado el uso de modelos de este tipo tiene varias limitaciones para incorporar estos relativamente nuevos fenómenos suburbanos como son las parcelas de agrado, las cuales también están siendo reguladas o más bien consentidas en los instrumentos de planificación, generando cierta incertidumbre del posible impacto o ocupación efectiva, lo cual se puede relacionar con lo señalado por Batisani y Yarnal (en prensa) sobre la calidad y exactitud de los límites de lo que se pretende proyectar.

El presente estudio deja en evidencia la necesidad de iniciar la discusión e investigación con respecto a la incorporación de estos fenómenos suburbanos llamados parcelas de agrado a los instrumentos de planificación, los cuales hasta hace unos años no se encontraban sistematizados, según lo señalado por Naranjo (2005), provocando un "desorden" en el uso del suelo en la periferia del territorio regulado por los instrumentos de planificación intercomunal.

En este sentido, se debe avanzar en tratar de establecer con mayor claridad los alcances de esta regulación ya que el PREMVAL no es el primer instrumento de planificación que incorpora terrenos para parcelas de agrado. Contreras (2009) determinó para el caso de Valdivia, que el instrumento comunal de planificación (PRC) fomenta el desarrollo de complejos habitacionales de características urbano-rurales hacia el sector oeste de la ciudad, mediante las subdivisiones prediales mínimas y densidad de habitantes por hectáreas, los que obviamente, señala el autor, se han materializado en condominios cerrados. Consecuentemente con lo anteriormente señalado se debe avanzar en la investigación de los posibles impactos ambientales, sociales, territoriales, etc., que generarán a futuro estos fenómenos suburbanos o semirurales incluidos en los instrumentos de planificación.

Finalmente el presente estudio deja pendiente el análisis y evaluación de la situación ambiental de las coberturas naturales y seminaturales previstas para el futuro y la efectividad en la conservación y/o preservación de estas coberturas por las denominadas áreas de restricción propuestas en el PREMVAL, generando incertidumbre sobre todo por la presión de la expansión urbana proyectada en ambos escenarios y de sobremanera en los escenarios que contemplan la implementación de este instrumento de planificación territorial.

## **5.2 Conclusiones**

A partir del análisis realizado en la presente investigación queda demostrado que El Gran Valparaíso ha presentado una constante expansión de su superficie urbana en el período observado, desde 1989 hasta el año 2007. Sin embargo, el crecimiento ha alcanzado diferentes tasas de expansión según se trate la comuna o ciudad que integra esta conurbación.

Son las ciudades costeras del Gran Valparaíso (Concón, Valparaíso y Viña del Mar), las que concentran principalmente las mayores tasas de expansión urbana entre los años 1989-2007. Consecuentemente, también concentran la mayor cantidad de cambios de coberturas naturales y seminaturales de sus suelos, a usos y coberturas urbanas en dicho periodo.

Se puede concluir a partir de las simulaciones realizadas que el proceso de expansión del Gran Valparaíso seguirá con tendencia creciente tanto de continuar manifestándose las tasas de crecimiento observadas como si se concretan las tasas previstas por el Plan Regulador Metropolitano. Bajo este último el crecimiento es mayor que el observado y se concentra en las ciudades de Concón, Valparaíso y Viña del Mar.

Las ciudades de Quilpue y Villa Alemana presentan tanto en el análisis retrospectivo como en los escenarios proyectados, las tasas más bajas de expansión, conformando una dinámica totalmente distinta a la identificada en las ciudades costeras del Gran Valparaíso.

En relación a los patrones de reemplazo de coberturas naturales y seminaturales a usos y coberturas urbanas, se mantiene la misma estructura en los escenarios proyectados que la observada en el periodo 1989-2007, con diferentes magnitudes, sobretudo en el escenario que contempla la implementación del PREMVAL, donde se las magnitudes aumentan considerablemente.

Con respecto al patrón de localización de los cambios de coberturas naturales y seminaturales a usos y coberturas urbanas se evidencian diferencias, según se trate del escenario que contempla o no la implementación del PREMVAL. Bajo el escenario previsto por el Plan Regulador, Valparaíso y Concón resultan ser las ciudades que atraerán un mayor crecimiento. La comuna de Valparaíso concentra en los escenarios que contempla la implementación del PREMVAL alrededor del 50% del total de los cambios en tres de los seis tipos analizados en la presente investigación.

Por lo anterior la comuna de Valparaíso se constituye en la comuna que sufrirá más pérdidas de sus coberturas vegetacionales densas y semidensas, bajo los escenarios proyectados que consideran la implementación del PREMVAL.

En relación al PREMVAL, es un instrumento que profundiza el proceso de expansión urbana, comprometiendo mayores áreas de coberturas naturales y seminaturales. Contradictoriamente con lo que cabría esperar de un instrumento de planificación urbano-territorial que privilegie la sustentabilidad del desarrollo urbano, el PREMVAL asume tasas de crecimiento mayores a las observadas y a las previstas por los pronósticos demográficos de crecimiento de la población, sin que se conozcan las razones para estos supuestos. Asimismo, el Plan Regulador estimula la instalación de áreas suburbanas y parcelas de agrado en terrenos que hasta ahora han estado cubiertos por espacios

abiertos o áreas vegetadas, proponiendo ocupaciones de tierras que afectarán negativamente al medio ambiente y la sustentabilidad de la ciudad futura.

La configuración espacial de los patrones de expansión urbana proyectada tiene grandes y significativas diferencias, según se trate del escenario que contempla o no la implementación del PREMVAL, teniendo en el escenario realizado con el registro histórico observado patrones similares a los registrados entre 1989-2007, mientras que en el escenario que contempla la implementación del PREMVAL, agudiza el patrón de expansión aislada o tipo archipiélago, como así también el crecimiento tentacular.

En cierta forma los resultados obtenidos en la presente investigación dan cuenta de una considerable incertidumbre sobre los impactos territoriales que generaría a nivel local, la implementación del PREMVAL, dada su configuración espacial como las altas de cambio que considera.

En relación a lo anterior y a la luz de los resultados obtenidos convendría preguntarse sobre cuál está siendo el rol del Estado a través de los llamados instrumentos de planificación territorial. Si realmente se está constituyendo como una entidad reguladora o más bien es una entidad que “regula” bajo presiones e intereses de inmobiliarias.

Finalmente, este trabajo no solo aporta con antecedentes a una problemática actual, sino también discute sobre cómo esta expansión urbana propuesta por un instrumento de planificación no resulta ser consecuente ni coherente con las tasas de crecimiento espacial ni demográfico observadas, con los principios de sustentabilidad del desarrollo urbano ni con una clara protección del medio ambiente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AGUILERA, F., SORIA, J., VALENZUELA, L. (2006). Explorando el crecimiento en la aglomeración urbana de Granada: Un modelo basado en Autómatas Celulares. XII Congreso Nacional De Tecnologías De La Información Geográfica. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías Geográficas, Granada, España. pp. 3-16.

ALDANA DEZZEO, A. y BOSQUE SENDRA, J. (2008). Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003. Revista GeoFocus, N° 8, pp. 139-168. ISSN: 1578-5157.

AZÓCAR, G., SANHUEZA, R. y HENRIQUEZ, C. (2003). Cambio en los patrones de crecimiento en una ciudad intermedia: el caso de Chillán en Chile Central. Revista EURE. Vol. XXIX. N° 87. Santiago de Chile, Septiembre 2003. pp. 79-92.

BARREDO, J., KASANKO, M., McCORMICK, N., LAVALLE, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, N° 64, pp. 145-160.

BATISANI, N. and YARNAL, B. (En prensas). Uncertainty awareness in urban sprawl simulations: Lessons from a small US metropolitan region, *Land Use Policy*, doi:10.1016/j.landusepol.2008.01.013.

BOCCO, G., MENDOZA, M. y MASERA, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM México*. N° 44. pp. 18-38.

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

CASTRO, C. y BRIGNARDELLO, L. (1998). Metabolismo y estructuración urbana del Gran Valparaíso: consideraciones ambientales y alcances territoriales del desarrollo urbano en la zona costera. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* N° 42. pp. 81-92.

CONTRERAS, M. (2009). Análisis de la estructura socio-territorial de la ciudad de Valdivia. Efectos de la globalización en una ciudad intermedia del sistema urbano chileno. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. Universidad de Chile. 138 Págs.

DE MATTOS, C. (2001). Movimientos del capital y expansión metropolitana en las economías emergentes Latinoamericanas. *Revista De Estudios Regionales* N° 60. Universidad de Andalucía, Málaga, España. ISSN: 0213-7585. pp. 15-43.

EASTMAN, J. (2006). *IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University. 328 págs.

EASTMAN, J. (2007). La Verticalización De Los Sistemas De Información Geográfica. En: XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina, 29 al 31 de mayo de 2007.

EL INMOBILIARIO. Fijan Zonas de Extensión para el Gran Valparaíso. Santiago, Chile [en línea]: <<http://www.elinmobiliario.cl/Noticias/Index.aspx?idContenido=183&i>> [consulta: 29 de octubre 2008].

EL MERCURIO. Plan Regulador Intercomunal: Fijan Zonas de Extensión para el Gran Valparaíso. Lunes 18 agosto de 2008. C7, Santiago Chile.

EL MERCURIO DE VALPARAISO. MINVU modificará Plan Intercomunal. Miércoles 14 de Mayo de 2008. [en línea]: <[http://www.mercuriovalpo.cl/prontus4\\_noticias/antialone.html?page=http](http://www.mercuriovalpo.cl/prontus4_noticias/antialone.html?page=http)> [consulta: 27 diciembre 2008].

EZQUERRA, CANALEJO A.; MORENO, 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. [en línea]: <<http://revistas.ucm.es/ccca/11391987/articulos/OBMD9898110201A.PDF>> [consulta: 19 octubre 2008].

FUENTES C. (2009). Evaluación socio-ambiental de los efectos de la variación en la escorrentía superficial derivada del proceso de urbanización en la cuenca de Macul, entre 1975 – 2007. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, 99 págs.

FUENTES S. y GONZALEZ L. Autómatas Celulares. Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil. Área de lenguaje y Sistemas Informáticos [en línea]: <<http://pisuerga.inf.ubu.es/cgosorio/Docencia/ALeF/>> España [consulta: 22 diciembre 2008.].

HENRÍQUEZ, C. y AZÓCAR, G. (2007). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. XI, núm. 245 (41). [en línea]: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-24541.htm>> [ISSN: 1138-9788], 1 de agosto de 2007.

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.

HENRIQUEZ, C., AZÓCAR, G. y AGUAYO, M. (2006b). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. Revista de Geografía Norte Grande, N° 36. pp. 61-74.

HENRIQUEZ, C. (2009). El proceso de perifragmentación del paisaje urbano en la ciudad intermedia de Chillán y Chillán Viejo. En HIDALGO, DE MATTOS, ARENAS (eds.) Chile: del país urbano al país metropolitano. Colección GEOlibros, Instituto de estudios urbanos y territoriales, Pontificia Universidad Católica, Santiago, Chile. pp. 369-386.

HIDALGO, R., BORSODORF, A. y SANCHEZ, R. (2007a). La expansión residencial amurallada en la reconfiguración metropolitana en Santiago de Chile. Taller Nacional sobre “Migración interna y desarrollo en Chile: diagnóstico, perspectivas y políticas”, Santiago, Chile 10 de Abril 2007.

HIDALGO, R., BORSDORF, A. y SANCHEZ, R. (2007b). Hacia un nuevo tejido urbano. Los megaproyectos de ciudades valladas en la periferia de Santiago de Chile. Revista Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales. Vol. XXXIX. Tercera época. Nº 151. España. pp. 115-135.

HU, Z., C.P., L. (2007). Modelling urban growth in Atlanta using logistic regression. Revista Computers, Environment and Urban Systems, Nº 31. pp. 667-688.

INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS). (2002). Resultados Generales. Censo de Población y Vivienda, 2002. Santiago, Chile. [en línea]: <[http://espino.ine.cl/CuadrosCensales/apli\\_excel.asp](http://espino.ine.cl/CuadrosCensales/apli_excel.asp)> [consulta: 22 enero 2009].

INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS). (2009). Chile Estadístico. Proyecciones Habitantes. [en línea]: <[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/demografia\\_y\\_vitales/proyecciones/MenPrincOK.xls](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/proyecciones/MenPrincOK.xls)> [consulta: 15 junio 2009].

JENERETTE, D., WU, J. (2001). Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona – Phoenix region, USA. Landscape Ecology, N º16. pp. 611–626.

KAYA, S. and CURRAN, P.J. (2006). Monitoring urban growth on the European side of the Istanbul metropolitan area: A case study. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8. pp. 18–25.

LAMBIN, E. F., B. L TURNER, J HELMUT, S. B. GEIST ET AL (2001) “The causes of land-use and land-cover change. Moving beyond the myths”. Global environmental change 11, pp 261-269.

LOPEZ, E. (2004). Cambio de uso de suelo y urbanización. Inter-american institute for global change climate. [en línea]: <[http://iaibr1.iai.int/SI/2004/2004UGEC\\_files/CD\\_Material/Jueves%207/Cambio%20de%20uso%20de%20suelo%20y%20urbanizaci%C3%B3n.ppt](http://iaibr1.iai.int/SI/2004/2004UGEC_files/CD_Material/Jueves%207/Cambio%20de%20uso%20de%20suelo%20y%20urbanizaci%C3%B3n.ppt)> [consulta: 02 enero 2009].

LOPEZ, E. y BOCCO, G. (2006). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo. [en línea]: <http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/PDF/CAMBIO/2USODELSUELO.PDF> > [consulta: 06 enero 2009].

LOPEZ, E., BOCCO, G. y MENDOZA, M. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM México Nº 45. pp 56-76.

MAHESH KUMAR, J., P.K. GARG 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.

MAS J., FERNÁNDEZ F. (2003). Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. México. Nº 51, pp 73-87.

MENDOZA M., BOCCO G., GRANADOS E., BRAVO M. (2002). Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis

espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm 49. pp 92-117.

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, 119 págs.

MOSCOSO, C. (2006). Expansión física y cambios de coberturas y usos de suelo en el Área Metropolitana de Valparaíso, V Región, Chile: período 1975-2004. Informe Practica Profesional, Laboratorio de Medio Ambiente y Territorio Departamento de Geografía. Universidad de Chile, 119 págs.

NARANJO, G. (2005). Efectos de un instrumento de planificación en el periurbano de Santiago. Caso de estudio: comuna de Tiltil. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Scripta Nova. Universidad de Barcelona, España. Vol. IX, núm. 194 (38), 1 de agosto de 2005. 14 págs. ISSN: 1138-9788.

NACIONES UNIDAS. (2008). Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision. [en línea]: <<http://esa.un.org/unup>> [consulta: 27 noviembre 2008].

PAEGELOW, M., CAMACHO OLMEDO, M. T. y MENOR TORIBIO, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje, GeoFocus (Artículos), Nº 3, pp. 22-44. ISSN: 1578-5157.

PAULEIT, S., ENNOS, R., and 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.

PONTIUS, R. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 66(8) pp. 1011-1016.

PONTIUS, R. and MALANSON J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. International Journal of Geographical Information Science, Nº 19, Vol. 2. pp. 243-265.

RIVERA, H. (2001). Aplicación De La Evaluación Multicriterio Para La Asignación De Funciones Al Territorio De La Reserva Nacional Valdivia. Proyecto Manejo Sustentable Del Bosque Nativo (Conaf / Gtz).

ROMERO, H. (2006). Análisis espacial del crecimiento urbano y de sus efectos sobre la sostenibilidad ambiental de las metrópolis y ciudades intermedias Chilenas. Tesis Doctoral DIRIGIDA POR EL DOCTOR JOSÉ MARÍA CUADRAT PRATS Zaragoza, España primavera de 2006. 521 págs.

ROMERO, H. y LÓPEZ, C. (2007). Variaciones de la funcionalidad ambiental del mosaico de paisaje vegetal del Gran Santiago entre 1975 y 2007. Presentación al Coloquio

Internacional Construyendo Resiliencia de los Territorios. Instituto de Geografía, Universidad Católica de Valparaíso, 17-19 de octubre de 2007.

ROMERO, H. y VASQUEZ, A. (2005a). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. EURE (Santiago), vol.31, no.94, pp. 97-117. ISSN 0250-7161.

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, núm. 194 (68). [en línea]: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-68.htm>> ISSN: 1138-9788.

ROMERO, H., ORDENES, F. y VASQUEZ, A. (2003). Ordenamiento Territorial y desarrollo sustentable a escala regional, ciudades intermedias en Chile. En: FIGUEROA, E. y SIMONETTI, J. (eds.) Globalización y biodiversidad: oportunidades y desafíos para la sociedad Chilena. Santiago: Programa interdisciplinario de estudios de Biodiversidad (PIEB), Universidad de Chile. pp. 167-224.

ROMERO, H., MOLINA, M., MOSCOSO, C., SARRICOLEA, P., SMITH, P. y VASQUEZ, 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. En DE MATTOS C., HIDALGO R. (Editores), Santiago de Chile, Movilidad Espacial y Reconfiguración Metropolitana. pp. 251-270.

SOUSA, S., CAEIRO, S. and PAINHO, M. (2002). Assessment of map similarity of categorical maps using kappa statistics The Case of Sado Estuary. [en línea]: <[http://www.igeo.pt/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP/esig\\_2002/papers/p079.pdf](http://www.igeo.pt/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP/esig_2002/papers/p079.pdf)> Instituto geográfico portugués Ministerio de Medioambiente, de ordenamiento del territorio y de desarrollo regional [consulta: 01 marzo 2009].

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

TURNER, B. and MEYER, W. (1991). Land use and land cover in global environmental change: considerations for study. International Social Science Journal, N° 43, Vol. 4, pp. 669-680.

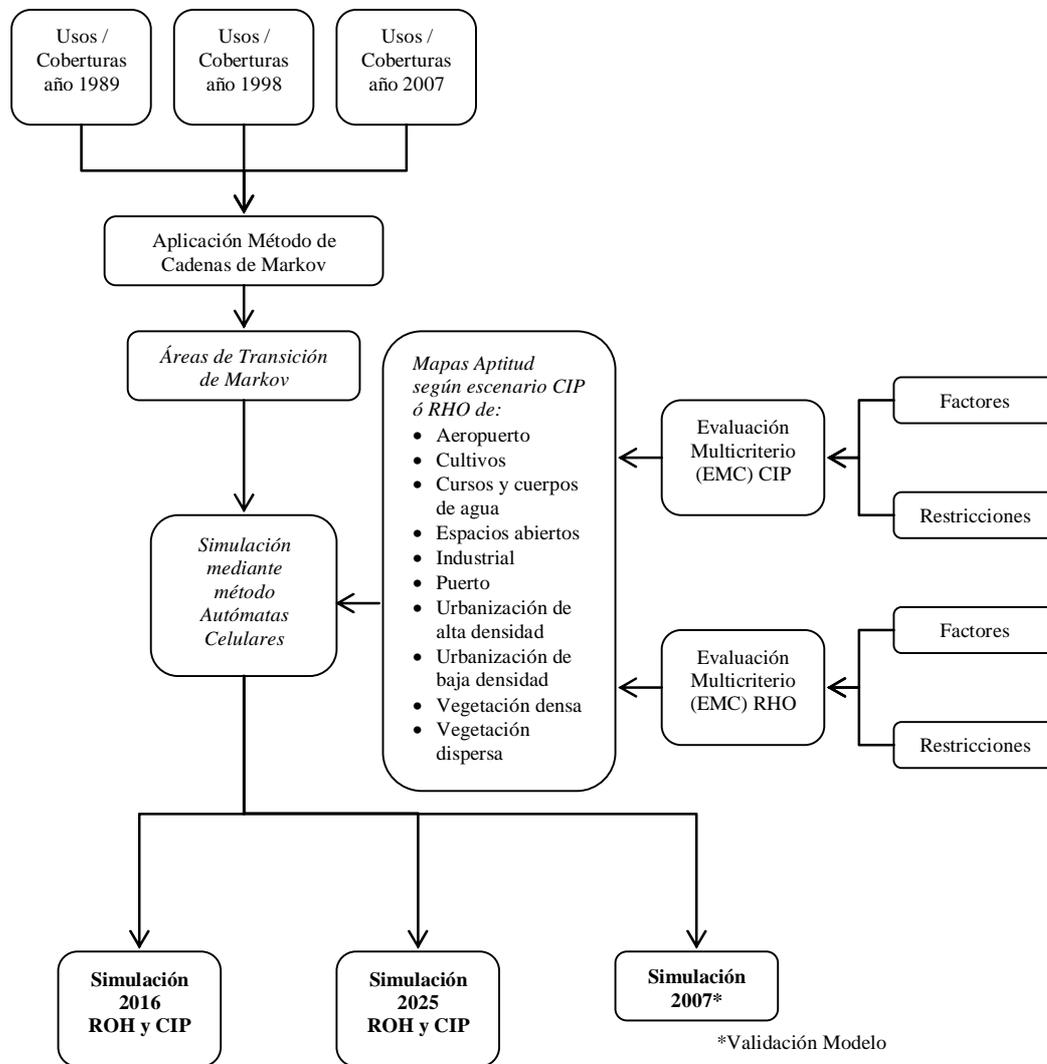
USGS (U.S GEOLOGYCAL SURVEY). (2009). Land Cover Trends Project. [en línea]: <<http://landcovertrends.usgs.gov/index.html>> [consulta: 29 febrero 2009].

VÁSQUEZ, A., 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". Anales del Congreso de Geografía Rural.

WITHFORD, V., ENNOS, R. and 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.

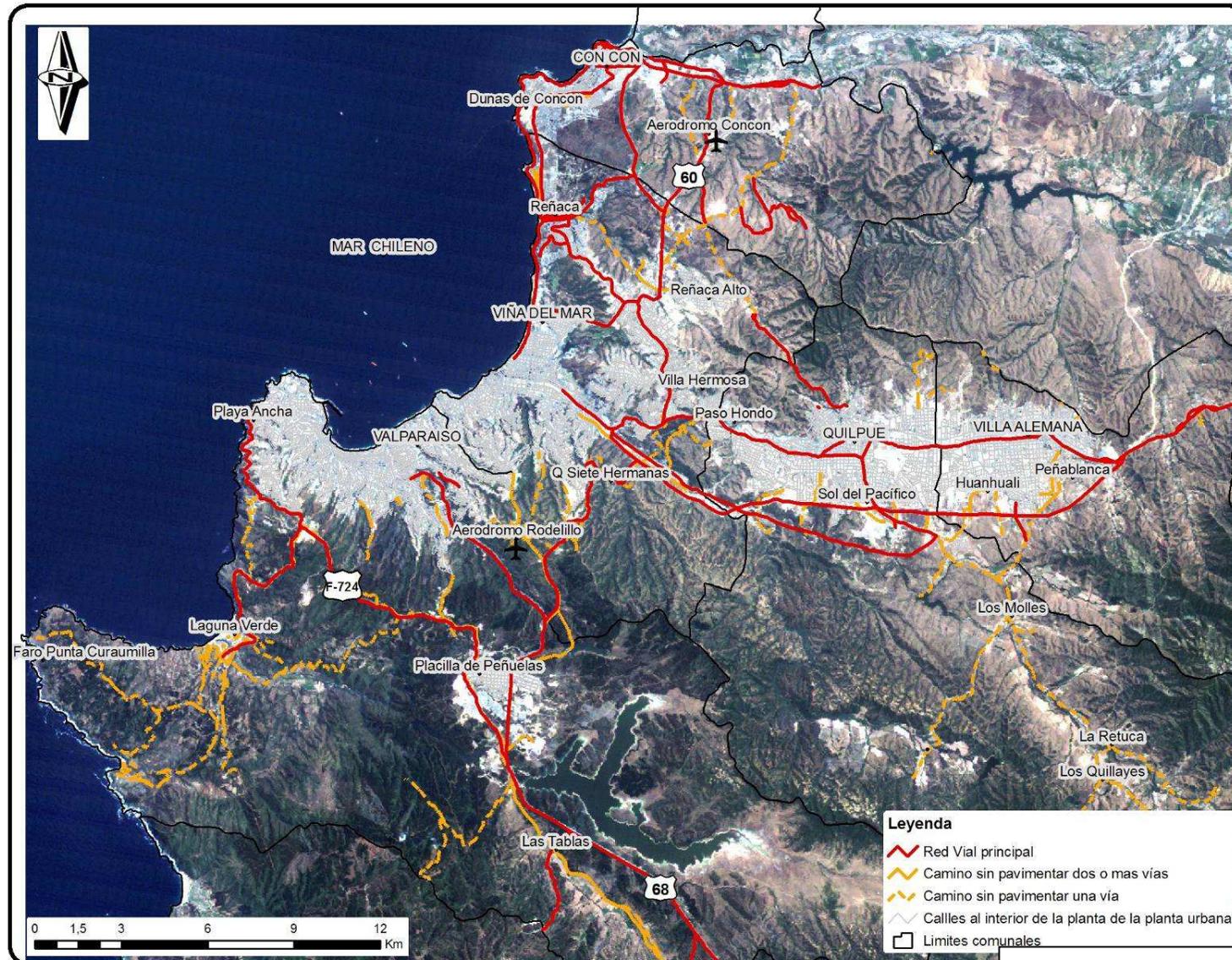
## ANEXOS

### Anexo 1 Esquema general de simulación



Fuente: Elaboración propia en base a Henríquez 2006b.

## Anexo 2 Red vial principal existente.



### Anexo 3 Áreas de restricción y de preferencia agrícola.

