

Vásquez, A. E., Romero, H., Fuentes, C., López, C. y Sandoval, G. 2008. Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile. Actas del Congreso Nacional de Desarrollo Rural. Santiago de Chile 2008.

## **EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN DE LOS EFECTOS AMBIENTALES DEL CRECIMIENTO URBANO OBSERVADO Y PROPUESTO EN SANTIAGO DE CHILE**

**Alexis E. Vásquez Fuentes, Hugo Romero, Claudio Fuentes, Carolina López  
y Gino Sandoval**

Laboratorio de Medio Ambiente y Territorio  
Departamento de Geografía  
Universidad de Chile  
PROYECTOS FONDECYT 1050423 Y 1080080

### **1. Introducción**

Para muchos ecólogos (Odum y Sarmiento, 1998; Sukopp, 1991; Forman, 1997) todos los paisajes de la tierra pueden ser clasificados en ambientes desarrollados, ambientes cultivados y ambientes naturales. Los primeros, son altamente intensivos en el uso de energía e incluyen centros poblados y sectores industriales; los segundos, comprenden plantaciones forestales, tierras de cultivos y sitios de pastoreo, y finalmente los ambientes naturales o “autosustentados” energéticamente, ya que básicamente dependen de la luz solar, incluyen bosques, montes, ríos, lagos, praderas, humedales, matorrales, etc.

Las ciudades son los principales sistemas desarrollados del planeta y debido a que concentran una gran cantidad de demandas energéticas por unidad de superficie y generan una gran cantidad de residuos (líquidos, sólidos y gaseosos), el impacto que pueden tener sobre los otros dos ambientes es enorme.

Los ambientes cultivados y naturales actúan como las principales fuentes de alimentos, aire puro, agua limpia y biodiversidad para los espacios urbanos, y, además reciben los residuos sólidos y las aguas contaminadas provenientes de las ciudades. Por todo lo anterior Odum y Sarmiento (1998) proponen que la totalidad de los sistemas agrícolas y naturales, lo rural, constituyen el sistema de soporte de vida, sin el cuál el hombre, y por ende la existencia de las ciudades, sería imposible. Adicionalmente, estos espacios rurales sirven como lugares de relajación, esparcimiento y contacto con la naturaleza, indispensables para la vida del hombre.

La transformación de territorios naturales y cultivados en urbanos, produce efectos ambientales dramáticos e irreversibles (Pauleit *et al.*, 2005; Pickett *et al.*, 2001), por lo cual este proceso debiese ser cuidadosamente planificado para evitar y minimizar la mayor parte de sus impactos negativos. Mientras mayor sean los impactos negativos de la urbanización sobre los medio ambientes naturales, serán más y mayores las necesidades de materia y energía proveniente de los sistemas de soporte de vida que se requieren para sustentar las ciudades. En los casos donde esta presión persiste durante largo tiempo, se termina provocando, primero, un deterioro en los sistemas de soporte de vida y finalmente una sobre exigencia más allá de su capacidad de carga.

El crecimiento urbano chileno se ha caracterizado por una expansión física de las ciudades en forma casi incontrolada que ha tenido profundas repercusiones ambientales y

sobre su sustentabilidad (Romero y Vásquez, 2005a; Romero *et al.*, 2007). Enormes superficies de suelos de alta capacidad agrícola o cubiertos por remanentes de bosques naturales, humedales y lechos de ríos y quebradas, han sido urbanizadas, perturbando severamente los flujos naturales de energía, materia y momento (movimiento) (Romero *et al.*, 2007, Smith, 2007).

Este trabajo realiza un análisis de los efectos ambientales negativos del crecimiento urbano de las principales ciudades chilenas con énfasis en las implicancias ambientales actuales y futuras de la propuesta de ampliar el límite urbano de Santiago, con el objeto de aportar antecedentes para comprender el desacoplamiento y contradicciones que actualmente enfrentan a las ciudades y sus entornos rurales.

## **2. Efectos Ambientales de la Urbanización**

La sistemática evaluación ambiental de los efectos del crecimiento espacial de ciudades y metrópolis chilenas, sugiere que existe un desmejoramiento de la calidad ambiental urbana en el transcurso del tiempo. Ello se debería tanto a la ausencia de instituciones y reglamentos específicos, como de conceptos, modelos e indicadores científicos, que acompañen la planificación, ejecución, monitoreo y fiscalización de las profundas transformaciones que provocan las ciudades sobre los medio ambientes naturales.

Algunos resultados de las investigaciones realizadas sobre los efectos ambientales del crecimiento espacial de las ciudades chilenas, y ejecutadas en las metrópolis de Santiago, Valparaíso y Concepción, y en las ciudades intermedias de Quillota, Chillán, Los Ángeles y Temuco, sustentan las visiones críticas frente a la sustentabilidad del desarrollo urbano debido a las siguientes constataciones:

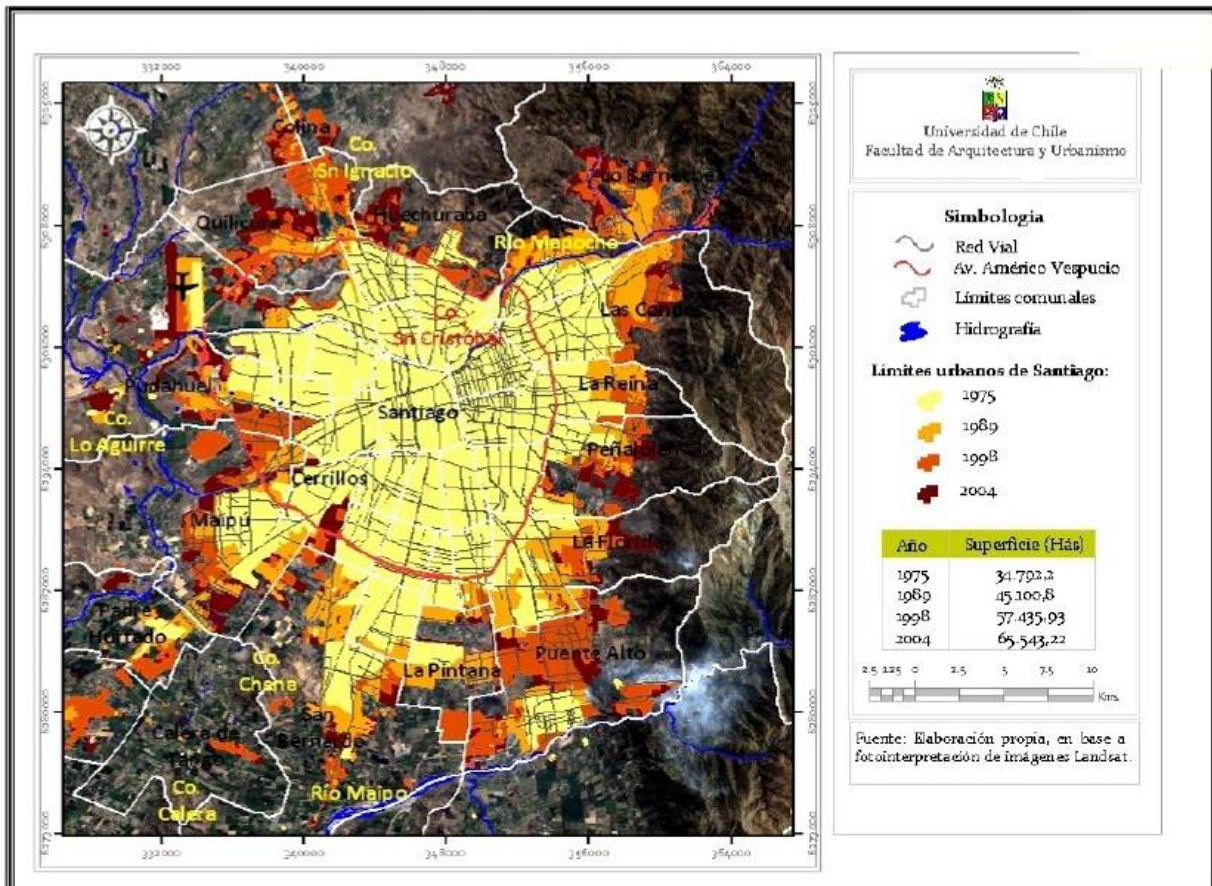
- Cambios de los climas urbanos y pérdida de la calidad del aire como consecuencia de la incontrolada emisión de contaminantes atmosféricos, generación y fortalecimiento de islas de calor urbanas y desaparecimiento y disminución de las islas frías (Peña y Romero, 2005; Romero y Sarricolea, 2006; Sarricolea y Romero, 2006)
- Desaparición, reducción y deterioro de las cubiertas vegetales, incluyendo terrenos de cultivo, áreas naturales y humedales (Romero y Fuentes, 2007; Romero y López, 2007; Smith, 2007)
- Pérdida de servicios ambientales y de calidad de los paisajes naturales al interior y alrededor de las ciudades (Vásquez y Romero, 2007; Romero y Vásquez, 2007)
- Pérdida de biodiversidad y reducción y desaparecimiento de hábitats, corredores y parches de vida silvestre (Romero, 2001; Romero y López, 2007)
- Generación y aumento de los índices de segregación socioambiental al interior de las ciudades (Vásquez y Romero, 2007)
- Falta de justicia ambiental y concentración de los efectos adversos –incluyendo enfermedades relacionadas con el medio ambiente urbano- en forma discriminatoria sobre los sectores sociales más vulnerables (Romero y Molina 2007, Vásquez y Romero, 2007)

- *Comodificación* creciente de los territorios, los recursos naturales y los servicios ambientales, representando en los mercados sólo los usos consuntivos y sin considerar los costos ambientales y sociales. Especulación y privatización de bienes comunes (Romero y Vásquez, 2005b)
- Creciente desacoplamiento y contradicciones entre las estructuras y dinámicas de la naturaleza y de los espacios construidos. Superación de la capacidad de carga y de resiliencia de los ecosistemas urbanos (Romero y Vásquez, 2007).

### 3. Crecimiento Físico de la Ciudad de Santiago

La figura 1 presenta el crecimiento espacial de la ciudad de Santiago registrado entre 1975 y 2004, a través del procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat, de tipo multiespectral para el primero de dichos años y Thematic Mapper para los años siguientes, corroborados por fotografías aéreas. La figura 2 da cuenta de las superficies asociadas al crecimiento urbano. Tal como se aprecia el crecimiento espacial fue más bien modesto y localizado en los bordes de la ciudad entre 1975 y 1989 y se aceleró significativamente entre este último año y 1998. Algunas áreas segregadas de crecimiento urbano se comenzaron a advertir a lo largo de las principales vías de comunicación.

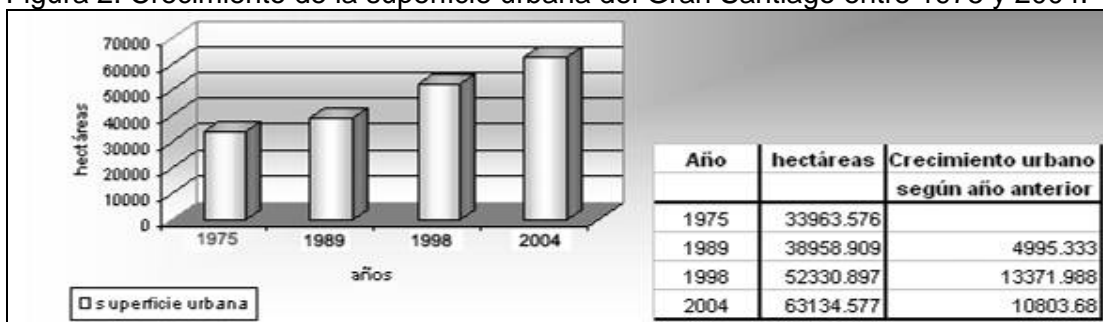
Figura 1: Crecimiento espacial de la superficie construida de Santiago entre 1975 y 2004.



Fuente: Elaborado por los autores.

Entre 1989 y 1998 se produjo una gran expansión física de la ciudad, que sobrepasó las 13.000 Hás y significó que las áreas construidas aumentaran de 38.958 a 52.330 Hás, registrando una tasa promedio de crecimiento anual cercana a las 1.300 Hás., orientadas en todas las direcciones, pero especialmente hacia las quebradas y cuencas superiores de los ríos que drenan el piedemonte andino en el sector oriental; hacia el poniente de la ciudad, a través de la ocupación de los bordes de calles y avenidas principales, y hacia el surponiente y sur mediante el relleno de áreas previamente ocupadas por campos de cultivo y cubiertas naturales. Entre 1998 y 2004, el área construida aumentó en 10.803 Hás, y la tasa anual se incrementó a aproximadamente 1.400 Hás/año. Se frenó el crecimiento hacia la cordillera andina debido a la inexistencia de áreas con aptitud urbana, pero se concentró en las comunas periféricas ubicadas al norte y sur de la ciudad.

Figura 2: Crecimiento de la superficie urbana del Gran Santiago entre 1975 y 2004.



Fuente: Elaborado por los autores.

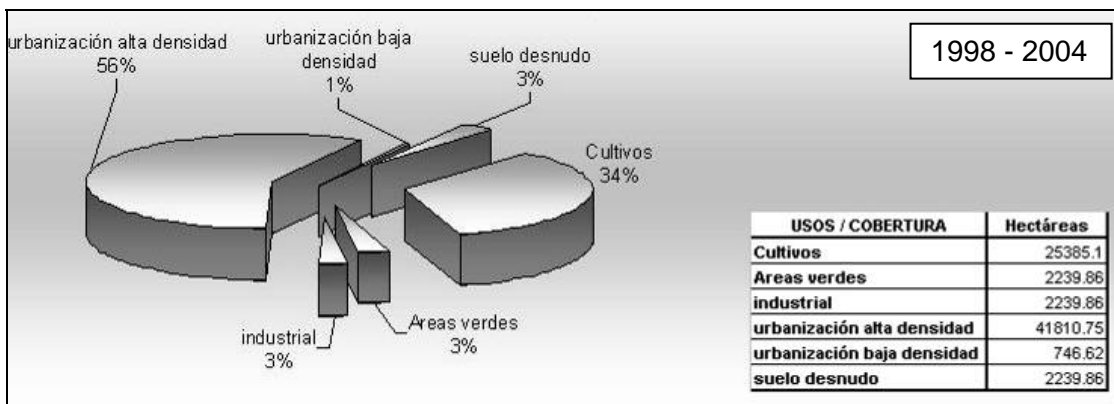
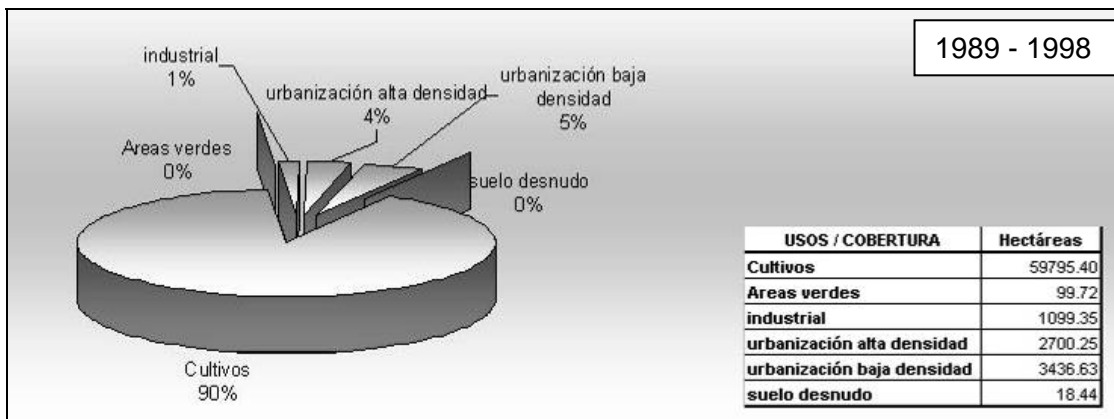
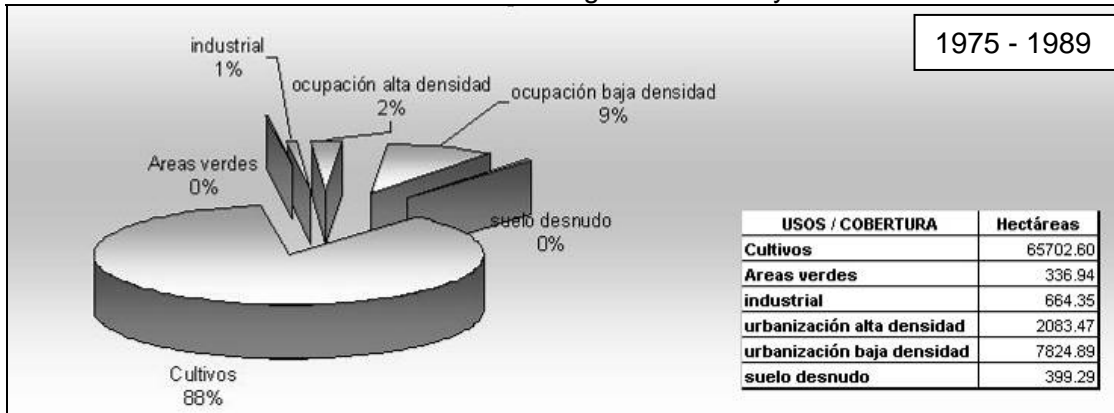
### 3.1. Sustitución de las áreas de cultivos

Anteriores trabajos han destacado la importancia económica, ecológica, hídrica, ambiental y cultural que representan los terrenos cultivados que rodeaban y rodean aún a la ciudad de Santiago (Romero et al., 2007; Romero y Vásquez, 2005a). Debido a que la ciudad ha ocupado una extensa llanura aluvial, los sedimentos provenientes de las montañas que rodean la cuenca han aportado materiales finos que conforman suelos de alta capacidad de uso agrícola, caracterizados por su escasa pendiente, gran profundidad, adecuada permeabilidad y suficiente materia orgánica. Muchos de ellos pertenecen a las clases de capacidad de uso I y II, que son equivalentes a los suelos de mejor calidad a escala mundial. Dadas las características físicas de estos suelos, sus funciones agrícolas deben ser complementadas con el reconocimiento de los servicios ambientales que ofertan, entre los cuales destacan su capacidad de infiltración de las aguas de lluvia y recarga de los acuíferos, el almacenaje de agua, su capacidad de evaporación y humidificación de la atmósfera y del ambiente, además de servir de hábitat a numerosos microorganismos biológicos.

La figura 3 demuestra que las superficies ocupadas por cultivos que rodeaban la ciudad, se han reducido desde cerca de 74.600 Hás a menos de la mitad entre 1975 y 2004 y que ello ha ocurrido especialmente entre 1998 y este último año, cuando se sustituyeron cerca de 34.400 Hás. en gran medida por la urbanización de alta densidad que cubrió el 56% de las tierras agrícolas. Mientras la sustitución de suelos con cultivos por este tipo de viviendas había sido muy reducida en los años anteriores –siendo superada por la ocupación de viviendas de baja densidad-, el enorme cambio de los años recientes demuestra como la expansión de la ciudad ha consistido preferentemente en transformar

suelos agrícolas en superficies urbanizadas, especialmente en los sectores ocupados por población de ingresos medios y bajos, y se ha ejecutado sin considerar las externalidades ambientales negativas, que se han traducido entre otras consecuencias, en importantes inundaciones, empeoramiento de la contaminación atmosférica y pérdida de la calidad de vida en muchos de estos sectores.

Figura 3: Cambios en los usos y coberturas de los suelos que han sustituido los terrenos cultivados en Santiago entre 1975 y 2004.



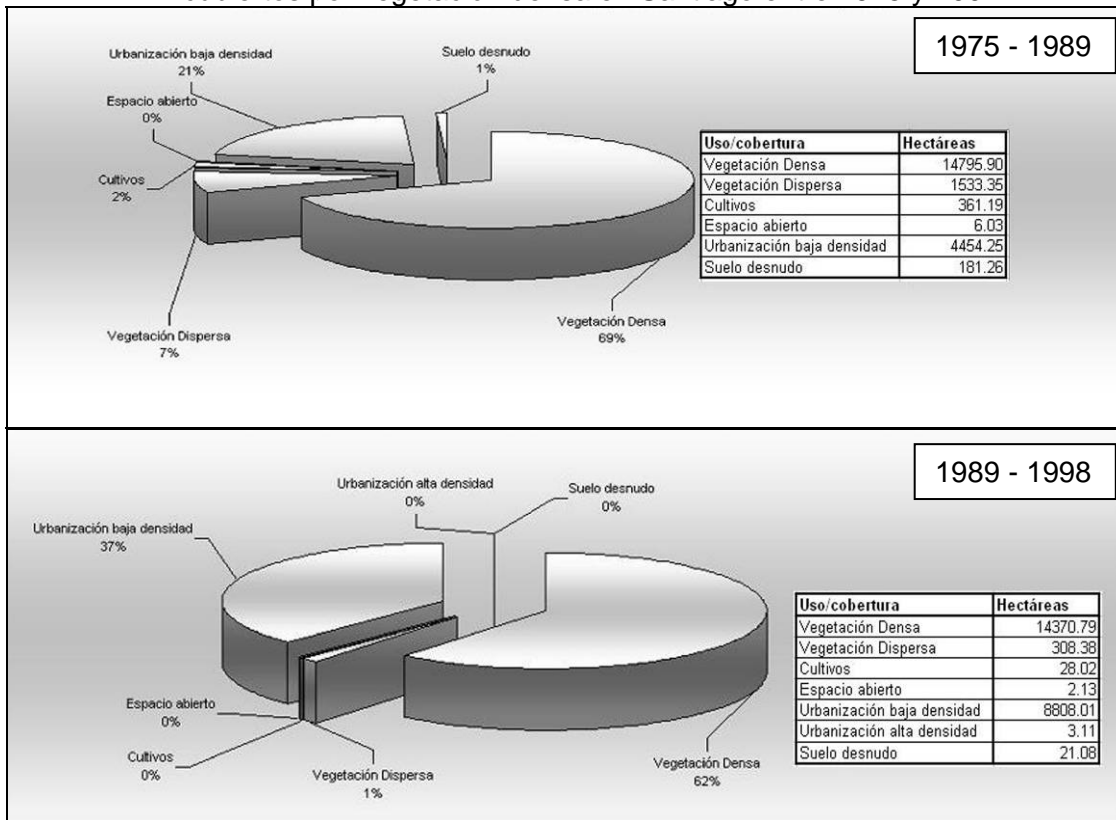
Fuente: Elaborado por los autores.

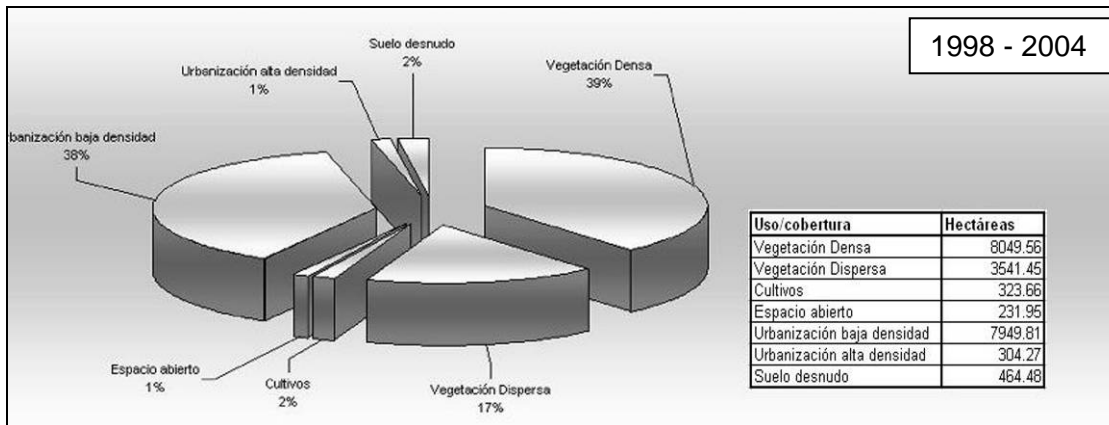
### 3.2 Sustitución de áreas cubiertas con vegetación densa por parte de la urbanización

Las superficies ocupadas por vegetación con coberturas densas son las que alcanzan los más altos valores ecológicos y ambientales en cualquier paisaje, pero especialmente en los de tipo semiárido, como los que corresponden a los que sirven de sitio a Santiago. La figura 4 demuestra que la superficie ocupada por coberturas vegetales densas que rodeaban la ciudad en 1975 se ha reducido de 20 mil Há. a sólo 8.049 Há. en el año 2004. Mientras en 1989 el 23% de las tierras cubiertas por vegetación densa fueron destinadas a viviendas de baja densidad, en 1998 y 2004 tal porcentaje aumentó a 38 y 42%, respectivamente. Las áreas residenciales de alta densidad –que corresponden a los estratos con ingresos medios y bajos, como se ha indicado anteriormente- no ocuparon estas áreas. Son las áreas residenciales de los estratos poblacionales de ingresos medios altos y altos los que han esencialmente sustituido las áreas vegetadas de mayor densidad, provocando significativas pérdidas en los servicios y funciones ecológicas y ambientales que prestan este tipo de coberturas naturales a las cuencas fluviales y a las ciudades en ellas localizadas.

Este hecho viene a corroborar lo que se ha indicado con anterioridad en Romero y Vásquez (2005a), en el sentido de que la *comodificación* de los territorios y paisajes destinados a la urbanización, ha generado una profunda injusticia ambiental, en la medida que los beneficios son apropiados por los sectores de mayores ingresos, mientras que las externalidades negativas son asumidas por los sectores más modestos de los habitantes de las ciudades.

Figura 4: Cambios en los usos y coberturas de los suelos que han sustituido los terrenos cubiertos por vegetación densa en Santiago entre 1975 y 2004.





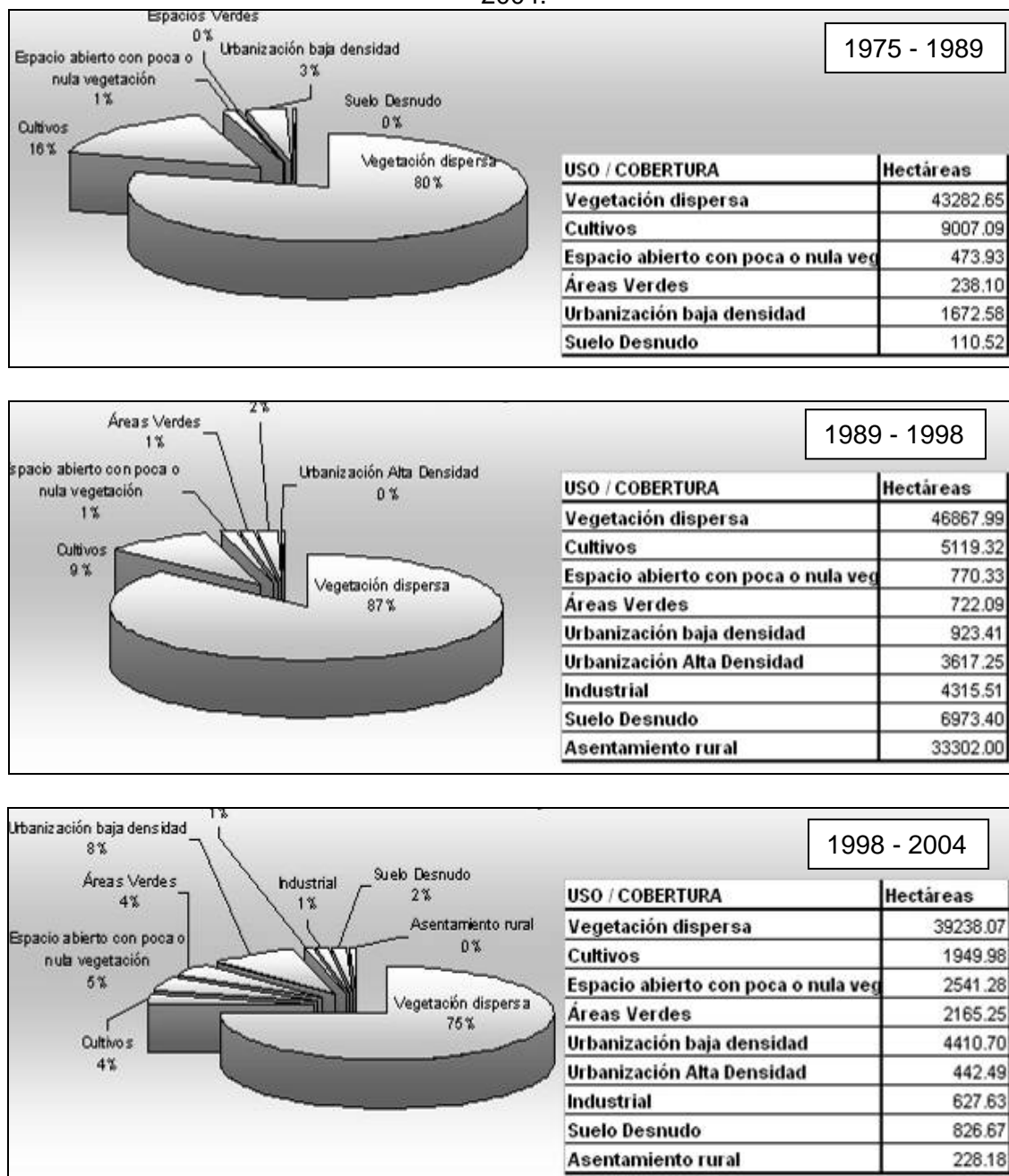
Fuente: Elaborado por los autores.

### 3.3 Sustitución de las áreas cubiertas por vegetación dispersa por parte de la urbanización.

La vegetación de cobertura dispersa es típica de las formaciones de llanura y de laderas que caracterizan los paisajes mediterráneos y semiáridos del centro de Chile. Se trata especialmente de matorrales que si bien no pueden igualar la importancia de las formaciones vegetales densas, cumplen aún importantes servicios ambientales, especialmente en la protección de los suelos contra la erosión y en la facilitación de la infiltración de las aguas lluvias y recarga de los acuíferos (Romero y Vásquez, 2005).

La figura 5 señala que este tipo de coberturas ha pasado de cerca de 54.000 Há. en 1975, a aproximadamente 40.000 Há. en el año 2004, lo que significa que no han sido mayormente afectadas por la urbanización. Mientras la urbanización de baja densidad sólo ha cambiado las coberturas ocupadas por este tipo de paisaje en 2-3%, sólo en el año 2004, un 8% de su superficie fue cubierta por viviendas de alta densidad. Este último hecho podría anticipar su creciente sustitución por parte de los sectores de ingresos medios y bajos que encuentran en estos terrenos marginales, las mayores posibilidades de urbanización. La conservación, restauración y mejoramiento de este tipo de cubiertas naturales es de gran importancia, tanto porque son el resultados de degradaciones significativas asociadas al sobrepastoreo y la extracción de leña, como por el rol ambiental que desarrollan en términos del control de la impermeabilización.

Figura 5: Cambios en los usos y coberturas de los suelos que han sustituido la vegetación densa en Santiago entre 1975 y 2004.



Fuente: Elaborado por los autores.

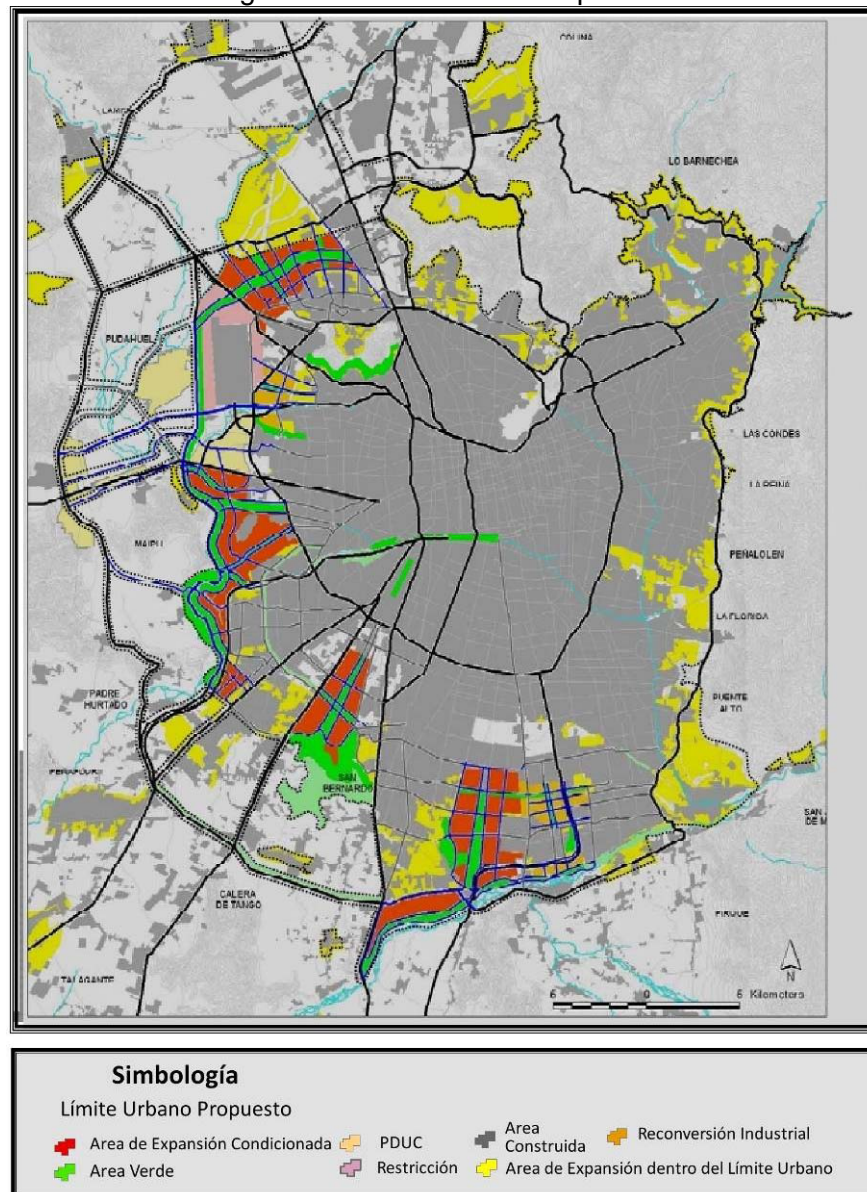
#### 4. Consideraciones ambientales a la modificación del Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS).

La propuesta más reciente de aumentar la superficie de expansión urbana de Santiago fue hecha por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en abril de 2008, por medio de la modificación del Plan Regulador Metropolitano de Santiago (figura 6). Esta contempla la



incorporación de 11000 ha a la ciudad, que corresponde a la superficie de crecimiento urbano promedio (entre 1975 y 2005) para un periodo de diez años.

Figura 6: Límite Urbano Propuesto.



Fuente: MINVU, 2008.

Una propuesta de tal envergadura debe ser cuidadosamente evaluada desde variados puntos de vista, ya que debido a la complejidad de los efectos sociales, culturales, ambientales, económicos y ecológicos que podría generar, pueda comprometer la sustentabilidad del desarrollo de la ciudad y sus zonas rurales adyacentes.

A continuación se presentan algunas consideraciones ambientales que se debieran tener en cuenta para minimizar los impactos negativos de la urbanización.

## 4.1 Efectos potenciales sobre la temperatura del aire

### Estación de Verano

La figura 7 muestra la distribución de la temperatura del aire en febrero de 2007 a las 10 AM. En ese momento la ciudad está cubierta principalmente por varias islas de calor urbano (Rohinton (1999) las considera como temperaturas superiores a 30 ° C) que se encuentran en el oeste (la comuna de Maipú), Norte (Colina), NE (Las Condes) y SE (La Florida). Se observan dos islas frías, una a lo largo del cono de aproximación al ex aeródromo de Cerrillos, y otra, en la parte alta de la comuna de La Reina, en el piedemonte andino oriental. En estas zonas frías la temperatura del aire es alrededor de 6 ° C más baja.

Es posible suponer que el cono frío de Cerrillos será reducido por la urbanización de sus bordes este y oeste. Sin embargo, estas dos nuevas áreas urbanas propuestas se estructuran en torno a zonas verdes que podrían evitar -en función de su estructura y distribución- la acumulación de calor en estas zonas más frías.

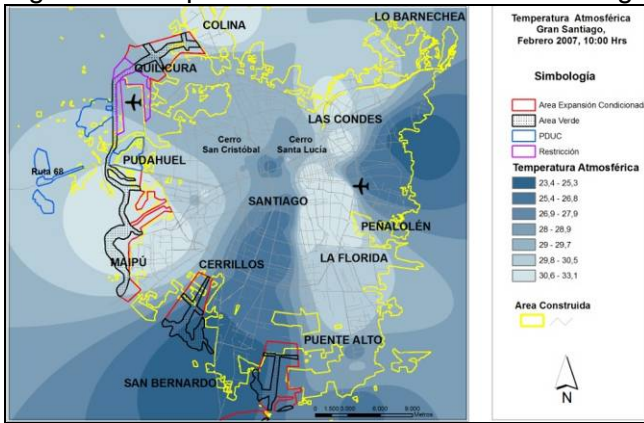
Las otras zonas de expansión urbana condicionada y los Proyectos de Desarrollo Urbano Condicionado (PDUC) se concentran en el sector NW y se podría asumir que las islas de calor presentes en Colina y Maipú serán conectadas por estos nuevos desarrollos. Nuevamente el cinturón verde entorno al cual se producirá la urbanización podría mitigar el aumento de las temperaturas.

La figura 8 muestra que a las 14 hrs. La mayor parte de la ciudad esta cubierta por áreas calidas y las islas frías reducen su superficie. Una isla de calor se localiza en el centro histórico de la ciudad (comuna de Santiago). Nuevas zonas urbanas podrían incrementar más aún la superficie ocupada por las islas de calor a esta hora del día.

A las 22 hrs. (Fig.9) la isla de calor central que controla el patrón general de distribución espacial de la temperatura, abarca la mayor parte de la superficie de la ciudad. La isla fría del NE (en torno a la comuna de Lo Barnechea) está más desarrollada, el cono frío de Cerrillos desaparece y las temperaturas mínimas emigran más al norte. La última posición de las zonas más frías al poniente y sur de la ciudad, podría ser suprimida por la expansión urbana de Maipú.

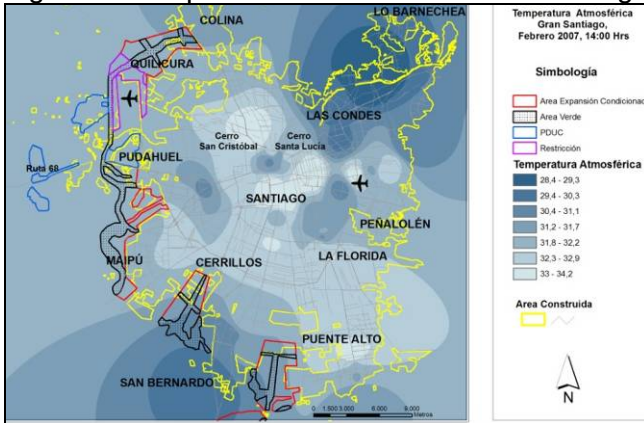
La diferencia máxima entre las áreas frías de la refrigerada periferia urbana y las zonas núcleo de las islas de calor es persistentes a lo largo del día, llegando a alrededor de 6 ° C. Es probable que esta diferencia aumente con las nuevas zonas urbanas, pero parece que el efecto climático más importante posible consistiría en la generalización de temperaturas más altas debido a la reducción de los corredores y núcleos fríos de mediodía y nocturnos.

Figura 7: Temperaturas atmosféricas en Santiago, Febrero 10:00 hrs.



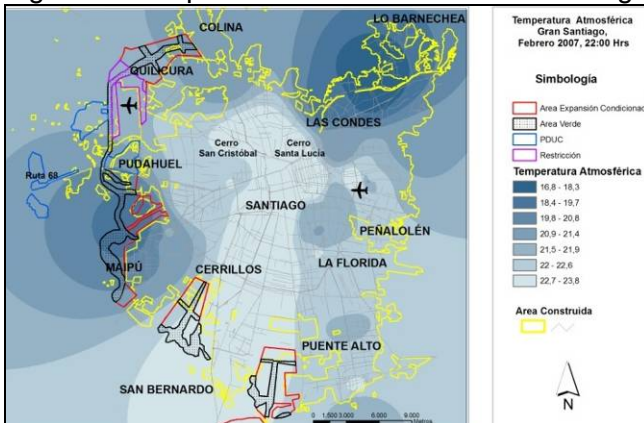
Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 8: Temperaturas atmosféricas en Santiago, Febrero 14:00 hrs.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 9: Temperaturas atmosféricas en Santiago, Febrero 22:00 hrs.



Fuente: Elaborado por los autores.

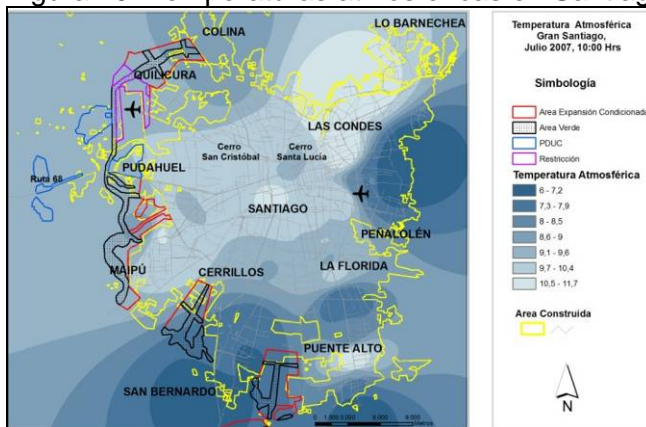
## Estación de invierno

En las mañanas de invierno (figura 10), la ciudad de Santiago puede ser dividida en dos secciones desde el punto de vista de sus temperaturas: las áreas calidas del norte y las áreas frías del sur. La única interrupción en el sector sur corresponde a la isla de calor que se registra en Puente Alto (una ciudad conurbada). Al igual que en el verano las nuevas urbanizaciones puede reducir la extensión e influencia de las zonas frías asociadas al cono de aproximación del ex aeródromo de Cerrillos.

A principios de la tarde, Santiago es bastante frío debido a que las temperaturas más bajas se registran ahora también en la parte más septentrional de la ciudad (figura 11). Probablemente el desarrollo de la zona más fría presente en Colina podría verse afectada por las islas o archipiélagos de calor urbano tras su incorporación a la ciudad. Un calentamiento similar se puede esperar en las fronteras del cono de Cerrillos cono, al igual que en temporada de verano.

En general es aceptado que la isla de calor urbana se desarrolla más durante las noches de invierno (figura 12). Sin embargo, en nuestras observaciones la diferencia entre las áreas más calientes y las más frías se vuelven menores a esta hora del día. Mientras que en la mañana y mediodía, la diferencia es alrededor del 6 ° C, en noches de invierno sólo llega a 4 ° C. Nuevas urbanizaciones podrían afectar parcialmente las islas de frío de Maipú y reforzar el aumento de temperatura del cono de Cerrillos. En verano y en invierno, el corredor de frío situado a lo largo de este cono se sustituirá por islas de calor durante las noches.

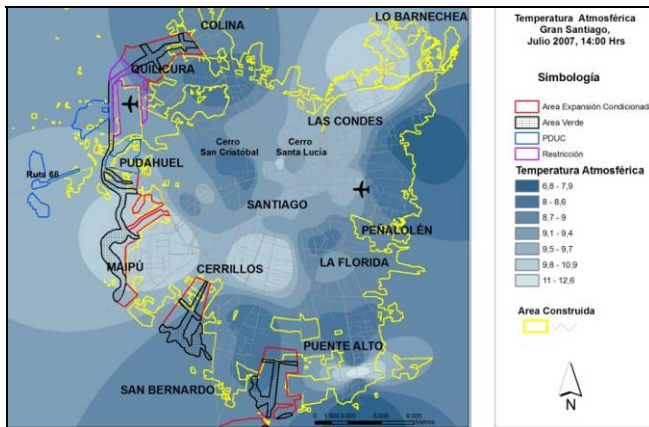
Figura 10: Temperaturas atmosféricas en Santiago, Julio 10:00 hrs.



Fuente: Elaborado por los autores.

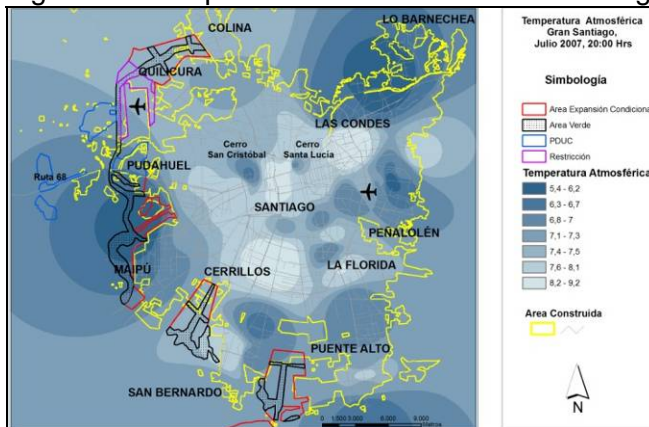
Figura 11: Temperaturas atmosféricas en Santiago, Julio 14:00 hrs.





Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 12: Temperaturas atmosféricas en Santiago, Julio 20:00 hrs.

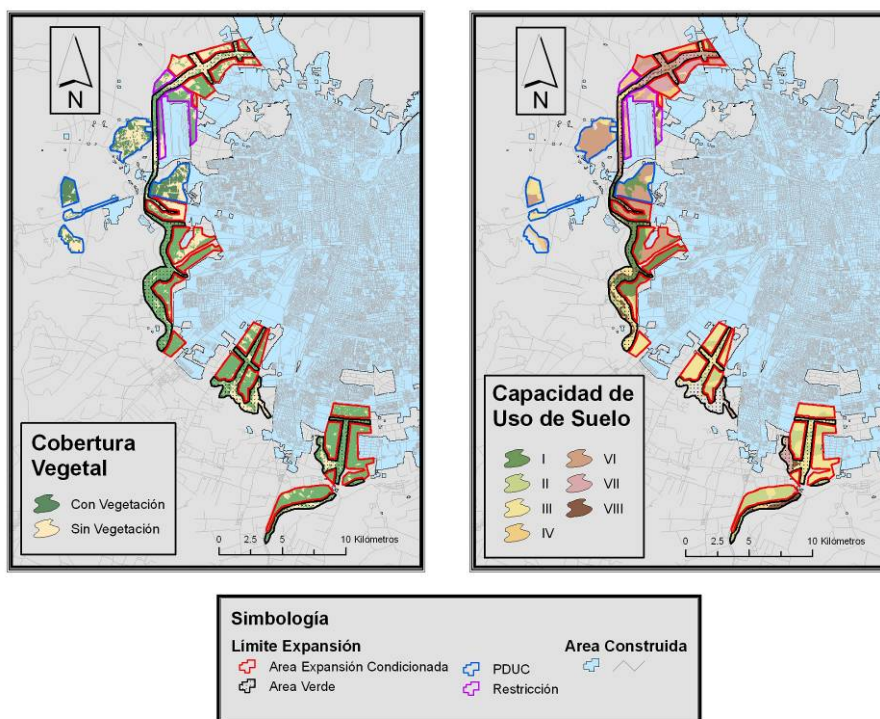


Fuente: Elaborado por los autores.

#### 4.2 Efectos sobre la vegetación

La figura 13 muestra una paradójica relación entre las nuevas áreas urbanas propuestas en la modificación del PRMS y la distribución actual de la vegetación en Santiago. La mayoría de las zonas urbanas van a sustituir zonas actualmente con vegetación, especialmente en el sur (San Bernardo) y SW (Cerrillos y Maipú). El cuadro 1 muestra que de las 5,300 Ha. de áreas urbanas condicionadas, 4000 Ha. contemplan urbanizar zonas actualmente cubiertas por vegetación. El desarrollo de los Proyectos de Desarrollo Urbano Condicionado (1600 Ha.) sustituiría otras 900 hectáreas de cubiertas vegetales. Esto quiere decir que las áreas urbanas propuestas sustituirán 4.900 Há de tierras agrícolas y áreas verdes que prestan importantes servicios ambientales a la ciudad.

Figura 13: Cobertura Vegetal y Capacidad de Uso de Suelo en el área de expansión.



Fuente: Elaborado por los autores.

Cuadro 1: Cobertura Vegetal en el área de expansión.

<b>Uso Expansion</b>	<b>Área Total Aprox. (hás)</b>	<b>Área Vegetada Aprox. (hás)</b>	<b>Área No Vegetada Aprox. (hás)</b>
Área Expansión Condicionada	5.300	4.000	1.300
Área Verde	3.500	2.500	1.000
PDUC	1.600	900	700
Restricción	600	400	200
<b>Total</b>	<b>11.000</b>	<b>7.800</b>	<b>3.200</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

La paradoja consiste en que la misma autoridad propone introducir 3500 Há de áreas verdes, conservando 2500 Há de las actuales y añadiendo otros 1000 Há. Las nuevas zonas verdes serán localizadas principalmente en los corredores y cinturones diseñados. Es difícil entender las razones por las que se propone urbanizar 3500 hectáreas de zonas verdes en lugares específicos y al mismo tiempo plantar otras 3,500 Ha. Si se trata de una suerte de compensación ambiental, se requeriría una evaluación que lo explicase.

#### 4.3 Capacidad de Uso

La Figura 13 y el cuadro 2 presentan la superposición entre las zonas urbanas y las clases de capacidad de uso de los suelos. 6750 Ha. de las nuevas zonas urbanas van a sustituir tierras fértiles por superficies impermeables en uno de los valles agrícolas más

relevantes de Chile, siguiendo una tendencia histórica que ha demostrado que bajo las premisas del mercado es imposible respetar los recursos naturales y usos alternativos de la tierra.

2.900 hectáreas de tierras agrícolas de primera calidad (capacidad I y II) se perderán con la nueva modificación del Plan Regulador del crecimiento urbano. Estas tierras presentan favorables condiciones agroclimáticas, propiedades del suelo, permeabilidad y productividad. Debido a estas características, estas tierras, situadas en las llanuras aluviales, también ofrecen una gran cantidad de servicios ambientales como alta tasas de infiltración de precipitaciones, -que a su vez controlan la ocurrencia de inundaciones-, gran capacidad de almacenamiento de agua y coberturas verdes que regulan los climas y facilitan los ciclos biogeoquímicos (Pauleit et al, 2005; Pickett et al, 2001; Withford et al, 2001)

Cuadro 2: Capacidad de Uso por tipos de uso de suelo propuestos.

<b>Capacidad de Uso</b>	<b>Área Total Aprox. (hás)</b>
<b>I</b>	<b>1.300</b>
<b>II</b>	<b>1.600</b>
<b>III</b>	<b>2.900</b>
<b>IV</b>	<b>950</b>
<b>VI</b>	<b>2.400</b>
<b>VII</b>	<b>950</b>
<b>VIII</b>	<b>400</b>
<b>Sin Suelo</b>	<b>500</b>

Fuente: Elaborado por los autores.

En el cuadro 3 se puede observar cómo la propuesta actual tiene previsto urbanizar un total de 4400 hectáreas de tierras cultivables por áreas y proyectos urbanos condicionados. Al mismo tiempo, los proponentes están incorporando 1900 hectáreas de zonas verdes. En términos generales, el saldo negativo indica que al final, 2500 hectáreas de tierras agrícolas que podrían desempeñar valiosos servicios ambientales como áreas verdes desaparecen.

Cuadro 3: Capacidad de Uso de Suelo en el área de expansión.

<b>Uso de Suelo Expansión</b>	<b>Capacidad de Uso de Suelo (área aprox. en hás)</b>							
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>Sin Suelo</b>
Área Expansión Condicionada	700	1.200	1800	200	800	500	20	30
Área Verde	400	400	900	200	500	300	300	300
PDUC	100	0	200	200	900	10	0	100
Restricción	0	20	60	300	200	80	0	20

Fuente: Elaborado por los autores.

## 5. Simulación de la expansión urbana en la comuna de Pudahuel y consecuencias ambientales

La Cuadro 4 muestra que en el año 1989 la comuna de Pudahuel poseía una superficie urbana de 1084 Ha. que en el año 1998 se duplicó. Las nuevas áreas urbanas surgidas en el periodo 1989 – 1998 se localizaron adyacentes al antiguo perímetro urbano específicamente al sur de Av. San Pablo y entorno a la intersección de esta última con Av. Américo Vespucio (figura 14). En este periodo aparecen las primeras células urbanas cercanas a la Ruta 68 y al Aeropuerto de Santiago.

Cuadro 4 Variación de Superficie según Usos SMLU

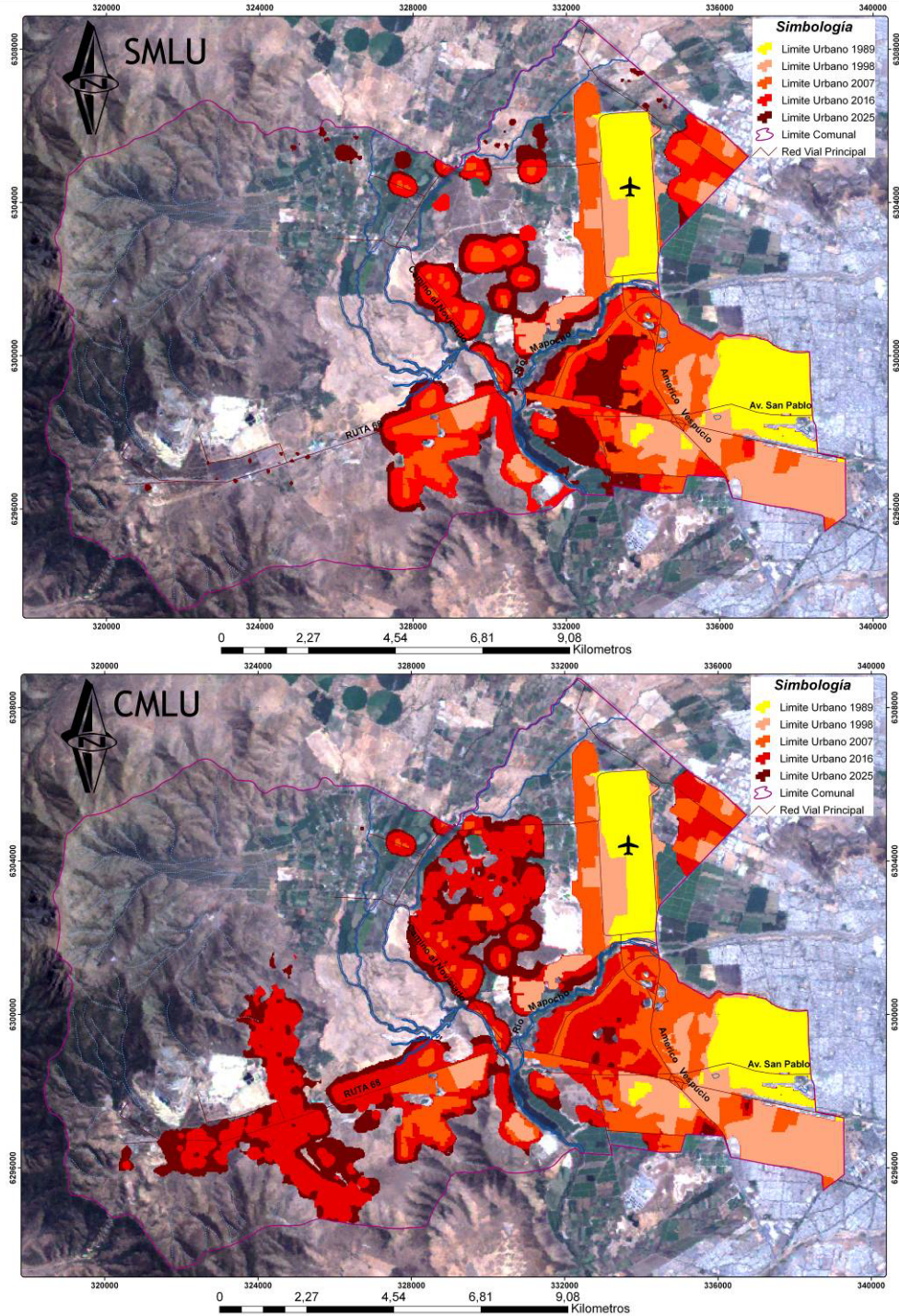
Sin Modificación Limite			Con Modificación Limite		
Año	Área	Tasas (has x año)	Año	Área	Tasas (has x año)
1989	1084,5		1989	1084,5	
1998	2289,2	133,9	1998	2289,2	133,9
2007	3814,5	169,5	2007	3814,5	169,5
2016	5189,2	152,7	2016	6549,3	303,9
2025	6.128,6	104,4	2025	7.509,4	106,7

Fuente: Elaboración Propia.

Entre el año 1998 y el 2007 la velocidad de expansión física de las superficies urbanas se incremento en 36 ha/año al pasar de 133,9 ha/año a 169, 5 ha/año, esto significó que se incorporaran 1525 ha a la ciudad. En este periodo las áreas de expansión urbana se concentran al poniente de Av. Américo Vespucio y comienzan a articularse en torno a otras rutas principales. Células urbanas son más frecuentes en torno a la ruta 68 y camino El Noviciado (figura 14).



Figura 14 Crecimiento de Usos Urbanos. Comuna Pudahuel 1989-2025. SMLU: Escenario Sin Modificación de Limite Urbano. CMLU: Escenario Con Modificación de Limite Urbano

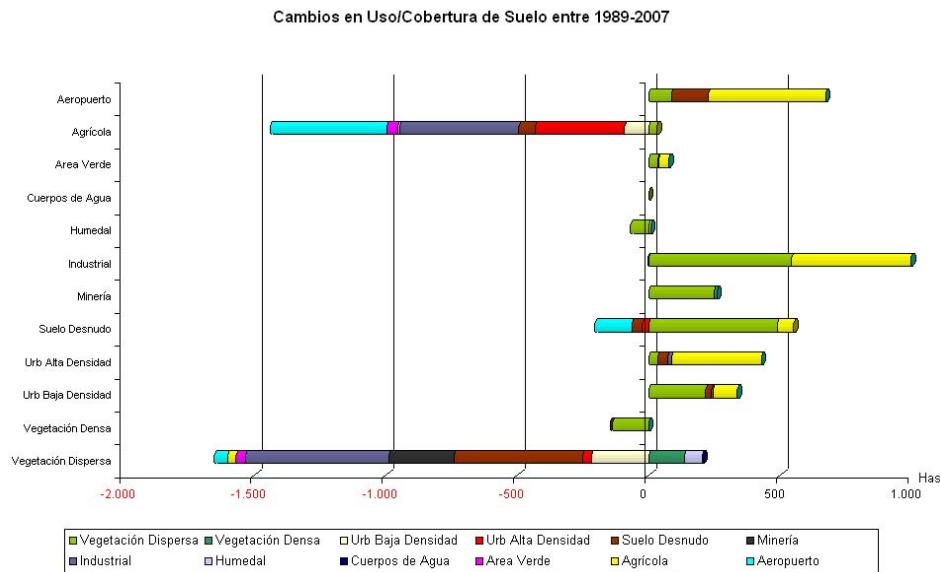


Fuente: Elaboración Propia.

La expansión urbana entre 1989 y 2007 se da principalmente sustituyendo tierras de cultivos y vegetación dispersa predominante en la llanura aluvial y sectores bajos (figura

15). En este periodo se pierden cerca de 1400 ha de tierras agrícolas y 1700 cubiertas con vegetación dispersa.

Figura. 15 Variación Uso / Coberturas 1989- 2007.



Empleando modelos de simulación espacialmente explícitos, basados en Cadenas de Markov y Automatas Celulares, se simularon los cambios de usos y coberturas de suelo para los años 2016 y 2025 considerando dos escenarios distintos. Uno que incorpora las modificaciones al PRMS y que incentiva o favorece la urbanización de ciertas zonas específicas (CMLU), y otro escenario donde no se incorporan estas modificaciones y por lo tanto el resultado de la simulación es producto exclusivamente de las tendencias históricas observadas en la dinámica de sustitución de usos/coberturas de suelo (SMLU).

La cuadro 5 muestra como en el modelo SMLU la tasa de expansión urbana anual decaea progresivamente desde 169 ha/año para el periodo 1998 – 2007 a 152 ha/año entre el 2007 y el 2016 y finalmente a 104 ha/año entre el 2016 y el 2025. En los periodos 2007 – 2016 y 2016 – 2025 se producen aumentos parciales en las superficies urbanas de 1375 ha y 939 ha respectivamente.

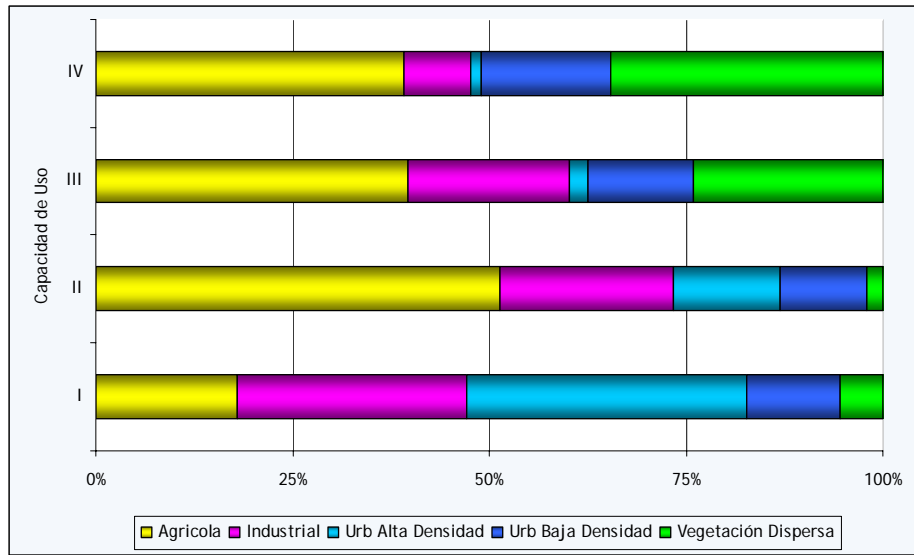
Al emplear el modelo CMLU se observa que la velocidad a la que crece la ciudad en el periodo 2007 – 2016 casi se duplica, pasando de 169 ha/año en el periodo anterior a más de 300 ha/año. Sin embargo, en el periodo siguiente, al haberse casi agotado las áreas propuestas como susceptibles de ser urbanizadas, la tasa sólo alcanza a las 106 ha/año que es muy similar a la obtenida para el mismo periodo utilizando el modelo SMLU (104 ha/año).

Por lo tanto, los datos indican que la primera gran diferencia entre ambos escenarios es que con la modificación del PRMS el ritmo de expansión urbana se duplica en los primeros diez años y con ellos se produce una perdida acelerada de tierras agrícolas y sectores cubiertos por vegetación dispersa.

La segunda gran diferencia, es que si se incorporan las modificaciones al PRMS propuestas, finalmente en el año 2025 se tendrán 178 ha agrícolas menos, 1381 ha urbanas más y 1762 ha menos de zonas cubiertas con vegetación dispersa que si no se hubiese ampliado los límites urbanos. Lo anterior significa que con la modificación al límite urbano, en el año 2025 se perderá el 51% de la superficie agrícola y el 42% de las superficies de vegetación dispersa existentes en la comuna de Pudahuel.

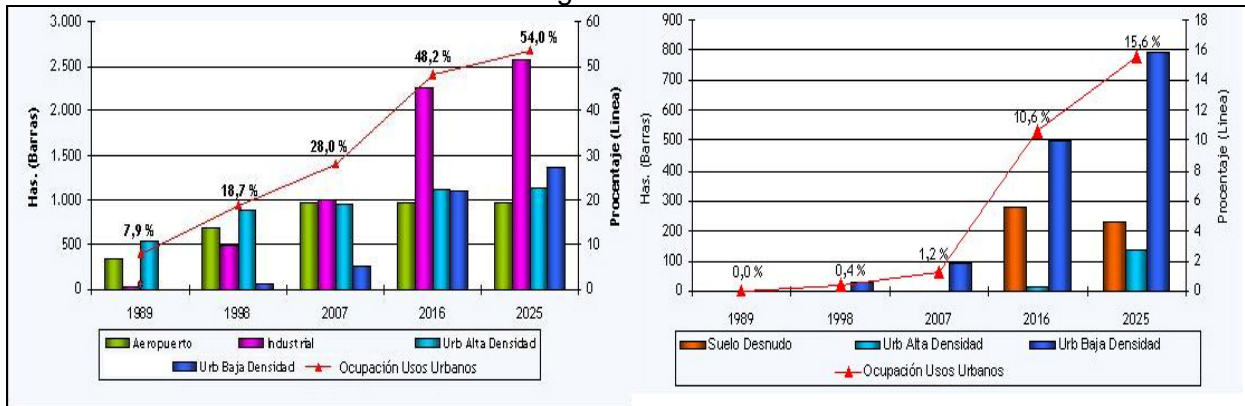
Otras consecuencias ambientales importantes tienen relación con la pérdida de tierras con alto potencial agrícola, ya que los mejores suelos serán ocupados y sellados por usos urbanos. Para el año 2016 el 60% de los suelos de capacidad de uso I y el 45% de los que poseen capacidad de uso II serán urbanizados (figura 15).

Figura 15 Ocupación de Suelo de Capacidad de Uso I; II; III; IV. Año 2016, según Uso.



En este mismo escenario en el año 2016 se habrá perdido el 54% de las zonas con Bosque Espinoso y el 15,6% de los Bosques Esclerófilos existentes en la comuna (figura 16).

Figura 16 Superficie Ocupación de Formación Vegetal Bosque Espinoso y Bosque Esclerofilo según Usos Urbanos.



Fuente: Elaboración Propia.

## 6. Conclusiones

Los procesos de expansión urbana que han caracterizado el reciente proceso de metropolización en Chile han afectado severamente los sistemas de soporte de vida y los servicios ambientales ofertados por los territorios naturales al desarrollo sustentable de las ciudades. Cómo los costos e impactos ambientales no son considerados explícitamente en las propuestas de expansión de los límites urbanos, no se aprecia restricción alguna para que las autoridades sigan generando condiciones para que las ciudades crezcan ilimitadamente, procediendo a imponer cambios en los límites, usos del suelo y normativas creados por ellas mismas, como parte del ejercicio de las políticas públicas. Se debe esperar que las políticas públicas protejan los bienes comunes y los servicios ambientales, la integridad de la naturaleza y la salud de los habitantes de las ciudades, lo que no estaría ocurriendo con la actual situación, evaluada científicamente en el país.

Las evaluaciones científicas, empleando modelos e informaciones obtenidas objetivamente y procesadas mediante el empleo sistemático de conceptos, conocimientos y análisis proveídos por los sistemas de información geográfica, señalan importantes degradaciones ambientales asociadas al proceso de urbanización, tales como generación de islas de calor, desaparecimiento de islas frías y elevados índices de concentración de contaminantes atmosféricos. Grandes superficies de suelos agrícolas de elevada aptitud y productividad, cubiertas vegetales naturales de alta y baja densidad y sitios de alto valor ecológico, han sido destruidos irreversiblemente, sin que existan mecanismos e instituciones destinados a su protección que funcionen eficientemente.

Las proposiciones de ampliar los límites del espacio urbanizado de Santiago generarán nuevamente- como ha ocurrido con los procesos anteriores- una degradación ambiental significativa. Los efectos de estas perturbaciones, representadas por altas concentraciones de contaminantes en el aire, agua y suelos, así como por la ocurrencia más frecuente de desastres naturales- como inundaciones y aluviones- , no son evaluados convenientemente y con posterioridad, nadie asume sus responsabilidades respecto a las causas que determinan la existencia de condiciones ambientales cada vez peores y que amenazan la sustentabilidad de las ciudades, la salud de sus habitantes y el estado de los ecosistemas.

Las simulaciones de los efectos ambientales del crecimiento urbano a través de áreas y proyectos condicionados en el sector poniente de la ciudad, ratifica que las tendencias de degradación se verán aumentadas, por lo menos en la próxima década, haciendo no aconsejable la aprobación de las modificaciones en los límites urbanos.

Parece ser el momento que los planes de desarrollo urbano y los instrumentos de ordenamiento territorial sean objeto de evaluaciones ambientales específicas y de carácter estratégico, tal como lo proponen las instituciones y los mecanismos que se aplican en la actualidad en la Unión Europea, en Norte América, en numerosos países asiáticos y latinoamericanos y en Australia y Nueva Zelanda.

## 7. Bibliografía

FORMAN R. 1997. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Harvard University, Cambridge University press, 632 p.

SUKOPP H., WERNER P. 1991. Naturaleza en las ciudades; Desarrollo de flora y fauna en áreas urbanas. Ediciones MOPT, 222 p.

ODUM, E. P., SARMIENTO, F. O. 1998. La Ecología: el puente entre ciencia y sociedad. Editorial. McGraw-Hill Interamericana de México.

PAULEIT S., R. ENNOS, Y. GOLDING. 2004. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK. Landscape and Urban Planning N° 71 (2005), Ed. Elsevier.

PEÑA, M. y ROMERO, H. 2005. Relación espacial y estadística entre las islas de calor de superficie, coberturas vegetales, reflectividad y contenido de humedad del suelo, en la ciudad de Santiago y su entorno rural. Anales de la Sociedad chilena de ciencias geográficas, 2005, p. 107-118.

PICKETT S., CADENASSO M., GROVE J., 2001. Urban Ecological Systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of Metropolitan Areas. Annu. Rev. Ecol. Syst. N° 32, pág. 127-57.

ROMERO, H. 2001. Ecología urbana y gestión ambiental sustentable de las ciudades intermedias chilenas. Ambiente y Desarrollo, Diciembre 2001, vol. XVII, N° 44, p. 45-51.

ROMERO, H. y FUENTES, C. 2007. Análisis de los Cambios de Usos-Coberturas de Suelo y la Escorrentía en tres Cuencas del Piedemonte de Santiago, entre 1975-2007. 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 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 MOLINA, M. 2007. Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile. Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, 2007. (En prensa).

ROMERO, H., MOLINA, M., MOSCOSO, C., SARRICOLEA, P., SMITH, P. Y VÁSQUEZ, A., 2007, Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelo causados por la expansión urbana de Santiago, análisis de sus factores explicativos e inferencias ambientales. En DE MATTOS C., HIDALGO, R. (EDITORES), *Santiago de Chile: Movilidad espacial y Reconfiguración Metropolitana*. Pontificia Universidad Católica de Chile, pags.251-269.



ROMERO, H. y SARRICOLEA, P. 2006. Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie. En CUADRAT, J., SAZ, M., VICENTE, S., LANJERI, S., ARRIAGADA, M. y GONZÁLES-HIDALGO, J. *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A N°5, 2006, p. 827-837.

ROMERO, H. y VÁSQUEZ, A. 2007. The Chilean free market and the lack of governance of urban green areas. II International Congress on Environmental Planning and Management, Berlín, 5-10 de Agosto 2007.

ROMERO, H. y VÁSQUEZ, A. 2005a. Evaluación Ambiental del Proceso de Urbanización de las Cuencas del Piedemonte Andino de Santiago de Chile. *Revista EURE de Estudios Urbanos Regionales*, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vol. XXXI, N°94, Diciembre 2005, p. 97-118.

ROMERO, H. y VÁSQUEZ, A. 2005b. La Comodificación de los espacios urbanizables y la degradación ambiental en Chile. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona, Agosto 2005, Vol. IX, N° 194.

SARRICOLEA, P. y ROMERO, H. 2006. Cambios de usos y coberturas del suelo entre 1998 y 2004 y sus efectos sobre la configuración de la isla de calor urbana de superficie de Santiago. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 2006, p. 207-210.

SMITH, P. 2007. Evolución Espacial y Temporal de la Calidad Ambiental del Paisaje de los Humedales de Concepción entre 1975 y 2004: Efectos Ambientales provocados por la Urbanización. Memoria para optar al título de Geógrafo aprobada con distinción máxima y 24 de Septiembre de 2007.

VÁSQUEZ, A. y ROMERO, H. 2007. El libremercado de las áreas urbanas y la falta de justicia ambiental en la disponibilidad de áreas verdes en Santiago de Chile, 2007, *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona (En Prensa).

WITHFORD, V., ENNOS, R., 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 Plannig* 57: 91-103. Editorial Elsevier.