

Geopedología de la cuenca de Santiago: Dimensión espacial de los problemas ambientales en los suelos

LUIGI ANDRE BRIGNARDELLO
BASILIO GEORGUDIS MAYA

Instituto de Geografía
Pontificia Universidad Católica de Chile

RESUMEN

La contribución presenta una descripción, análisis e interpretación de las características pedogenéticas, propiedades físicas y agronómicas y uso actual del suelo a fin de identificar y evaluar los problemas ambientales que afectan al suelo en la cuenca de Santiago. Mediante el manejo de diferentes planos de información digital en un SIG se obtuvieron cartas de análisis y de síntesis que representan cada una de las temáticas estudiadas.

Los suelos generados a partir de los materiales aluviales que enmantan la cuenca corresponden a suelos incipientes a moderadamente desarrollados y de gran importancia agrícola, tanto por las condiciones naturales como por el mejoramiento antrópico.

Se comprueba el fuerte proceso de disminución de un espacio agrícola altamente productivo por la expansión urbana de Santiago, a razón de 780 ha por año, y por los procesos de erosión de los suelos que afecta al 28% de la superficie de la cuenca. Se añaden algunos antecedentes del deterioro de los suelos debido a la contaminación.

ABSTRACT

The research shows a description, analysis and interpretation of the pedogenetical characteristics, physical and agronomical properties and present use of soils. These activities were released to identify and to evaluate the environmental problems that affect to soils in Santiago graben. Through digital processing of different information layers utilizing a GIS, analytic and synthetic cartography were obtained to exprese everyone of studied topic.

The soils formed from aluvial sediments that cover the graben are young or moderately mature. They have much agricultura) importance ought their natural conditions and anthropic improvement. It was verify the strong areal diminution process by urban expansion (780 ha./year) and by soil erosion process (28% of the area). Some antecedente about soil degradation by pollution are incorporated.

Palabras clave: Cuenca de Santiago, erodabilidad, taxonomía de los suelos, pérdida de suelos, expansión urbana.

INTRODUCCION

La cuenca de Santiago, de poco más de 3.000 Km², constituye la unidad morfológica más poblada del país con una densidad promedio de 1.680 hab./Km² (1992), lo que genera una fuerte presión antrópica al sistema natural. Esta característica se debe a que esta cuenca tectónica presenta condiciones ambientales que favorecen la ocupación humana, tales como un clima templado, una topografía relativamente llana, la proximidad del litoral, y la presencia de recursos naturales (agua y suelos fértiles), entre otras. Con la fundación de la ciudad de Santiago (1541) y la entrega de las Mercedes de Tierra, comienza un uso más intensivo de los suelos de la cuenca que, en un principio, estuvieron destinados a la producción de chacras, hortalizas y ganadería mayor. Ya en el siglo XIX, con la construcción del canal del Maipo (1821) y el mejoramiento de la capacidad de uso de los suelos aledaños a la capital, se in-

tensifica su utilización agrícola para atender las necesidades del creciente mercado interno.

La vocación agrícola de los suelos de la cuenca empieza a ser afectada por diferentes problemas con el inicio de la industrialización a mediados del siglo XX, como son:

- (i) el desmesurado crecimiento de la planta urbana de Santiago, que de unas 3.000 hectáreas, a principios de siglo, aumentó a más de 55.000 hectáreas, en 1995, de los cuales un 83%, aproximadamente, corresponden a suelos agrícolas;
- (ii) el considerable aumento de áreas afectadas por erosión pluvial severa en suelos con aptitud ganadera y forestal, principalmente en los sectores de lomaje en los márgenes de la cuenca (unas 18.000 hectáreas); y
- (iii) la contaminación de los suelos, producto de la decantación de partículas metálicas de alta toxicidad proveniente de las áreas in-

dustriales y fruto de la contaminación de las napas freáticas a partir de los cursos de agua superficiales y vertederos de basura.

La presente comunicación describe, en forma sucinta, las características generales de los suelos que se desarrollan en la cuenca de Santiago desde la perspectiva geográfica, a fin de efectuar un análisis integrado que permita identificar los factores ambientales que condicionan al suelo y que son afectados por las interferencias antrópicas, enfatizando en la evaluación de estos problemas ambientales.

MATERIALES Y METODO

El carácter integral del estudio incorporó varios procedimientos metodológicos. En una primera etapa se analizaron los antecedentes biblio-

gráficos y cartográficos que permitieron caracterizar los elementos y factores ambientales que influyen en la pedogénesis de los suelos del área de estudio. Esta información fue cotejada con aquella recopilada en distintos trabajos de terreno y con material inédito de los autores. Estos antecedentes, en una segunda etapa, fueron ingresados a un Sistema de Información Geográfica. Mediante la unión gráfica y el manejo de las bases de datos de los diferentes planos de información digital (ver tabla I) se obtuvieron unidades pedológicas homogéneas, con las que se realizó la clasificación de suelos a través del análisis de cada uno de los parámetros considerados (Taxonomía de los suelos).

La superposición de coberturas digitales del área construida del Gran Santiago de diferentes años, obtenidas de fотомosaicos, aerofotografías, cartografía topográfica e imagen satelital, con aquella de capacidad de uso de los suelos, permi-

Tabla I

Planos de información digital de base

Cobertura	Código	Topología	Campos o ítems	Fuente
Unidades Morfológicas	GM	Polígonos	Geoformas Agente morfogenético Granulometría del sustrato	SNGM ¹ Propia ² SNGM
Unidades Geológicas	GL	Polígonos	Litología Grado de cohesión Edad	SNGM Propia ² SNGM
Unidades Vegetales	VG	Polígonos	Asociaciones vegetales Grado de recubrimiento vegetal	Propia ³ Propia ³
Unidades Pedológicas	PL	Polígonos	Serie de suelo Perfil tipo Espesor medio Textura media Epipedón	CIREN CIREN ¹ CIREN ¹ CIREN ¹ Propia ²
Capacidad de uso de los suelos	CU	Polígonos	Clases de suelo	CIREN
Uso actual del suelo	UA	Polígonos	Tipo de uso	Propia ³
Planta urbana del Gran Santiago	PU	Polígonos	1800 1900 1950 1960 1970 1980 1994	Varios ⁴ Varios ⁴ Varios ⁴ Varios ⁴ Varios ⁵ Varios ⁵ Propia ³
Curvas de nivel	CN	Arcos	Altitud	IGM
Red de Drenaje	RD	Arcos	Orden del drenaje	IGM ¹

Notas: ¹Modificado por los autores

²Información recogida en trabajo de terreno

³A partir del análisis de la imagen satelital

⁴Bähr y Riesco (1981); Frías (1986); Toledo y Zapater (1989)

⁵Bähr y Riesco (1981); Frías (1986); Toledo y Zapater (1989); Larraín (1992); Instituto Geográfico Militar (Cartas topográficas 1: 50.000 diferentes años).

SNGM: Servicio Nacional de Geología y Minería

CIREN: Centro de Información de Recursos Naturales.

IGM: Instituto Geográfico Militar.

tió definir la disminución espacio-temporal de los suelos agrícolas. A partir del modelamiento digital se obtuvieron las probables áreas de futura incorporación al casco urbano y, por consiguiente, la reducción del suelo agrícola.

Otros procesos de superposición permitieron identificar los suelos con condiciones favorables a la erosión (Erodabilidad), y determinar la disminución y degradación de suelos por esta causa. La inexistencia de antecedentes con suficiente cobertura espacial sobre contaminación de suelos imposibilitó la incorporación de esta variable al estudio integral, por lo que no es analizada geográficamente, aunque sí considerada en la disquisición.

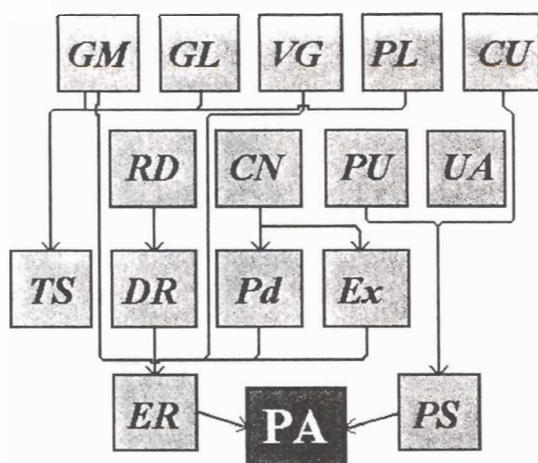
Por último, en cada proceso se elaboraron salidas gráficas, algunas de las cuales se incluyen en esta comunicación. La cartografía de síntesis corresponde a la de áreas pedológicas con problemas ambientales actuales y potenciales.

La figura 1 esquematiza el modelo metodológico en SIG que permitió obtener los resultados alcanzados.

FACTORES AMBIENTALES Y SU INFLUENCIA EN LA PEDOGENESIS

La Cuenca de Santiago corresponde a una depresión tectónica de 83 Km de longitud de Norte a Sur por unos 38 Km de ancho promedio, enmarcada por las cordilleras de los Andes al Este y de la Costa al Oeste, por el cordón transversal de Chacabuco al Norte y Angostura al Sur, con una superficie de 3.185 Km². Los procesos tectónicos que originaron el hundimiento, junto a los procesos de erosión y sedimentación fluvio-glacio-volcánica, configuran el actual relieve de la cuenca, la que a su vez constituye el nivel de base local del río Mapocho y del curso superior del río Maipo (Borde, J., 1966).

Al noroeste se desarrollan cuencas tectónicas transicionales menores de Montenegro-Rungue, Tiltill y Polpaico y al noreste se ubican las de Chacabuco y Peldehue, todas dispuestas en forma escalonada hacia el sur, probablemente controladas por fallas ortogonales, y sedimentadas con materiales aluviales y coluviales en sus márgenes. Inmediatamente al sur de ellas, los conos aluviales pleistocénicos del estero Colina y del estero Lampa rellenan la cuenca con rodados, rípios y arenas granodioríticas y andesíticas y arenas finas de la misma petrografía, respectivamente. Estos conos de escasa pendiente presentan condiciones propicias a las inundaciones. Asimismo, el Gran Cono postholoceno del Maipo enmanta gran parte del área sur de la cuenca con sedimentos heterogéneos de origen fluvial, gla-



- | | |
|--------------------------------|---|
| GM: Unidades Geomorfológicas | GL: Unidades Geológicas |
| VG: Unidades Vegetaciones | PL: Unidades Pedológicas |
| CU: Capacidad de Uso del Suelo | RD: Red de Drenaje |
| | CN: Curvas de Nivel |
| | PU: Planta Urbana del Gran Santiago |
| UA: Uso Actual del Suelo | TS: Unidades Taxonómicas del Suelo |
| | DR: Disección del Relieve |
| | Ex: Exposición de Laderas |
| | PS: Pérdida de Suelo |
| | Pd: Pendientes |
| | ER: Erodabilidad |
| | PA: Problemas Ambientales de los Suelos |

Figura 1: Modelo metodológico en S.I.G.

cial, fluvio-glacial, glacio-volcánicos y torrenciales (Börgel, R., 1966b). El centro de la cuenca es colmatada por los depósitos del río Mapocho constituidos principalmente por materiales torrenciales (Börgel, R., 1966a) que conforman el suelo fundacional de Santiago desde el Zanjón de la Aguada al norte, e hidrocineritas mezcladas con cantos y rodados subredondeados volcánicos que se manifiestan en potentes mantos en Pudahuel y Cerrillos, formando terrazas lacustres. Otros mantos eolo-hidrocineríticos cubren parcialmente los conos al norte del río Mapocho y el piedmont de Santiago (Valenzuela, G., 1978).

En las áreas de morfología transicional que rodean la cuenca se desarrollan conos aluviales menores, coalescentes, formando piedmonts de regular extensión, como el de Santiago. En sectores deprimidos y de menor pendiente se ha producido una sedimentación lacustre como en Huechún, Batauco y Aculeo. En estos sectores, así como en Lampa, Pudahuel y Maipú, la napa freática se encuentra muy cercana a la superficie (IIG, 1970), saturando los suelos en la época húmeda. Algunos cerros isla dejan aflorar la roca fundamental compuesta por granito (Thiele, R., 1980).

Los antecedentes expresados en la cartografía (ver figura 2) indican que el 63,7% de la cuenca está enmantaada por sedimentos fluvio-torrenciales, el 8,3% por sedimentos fluvio-volcánicos, el 13,3% por materiales de origen aluvio-coluvial, y

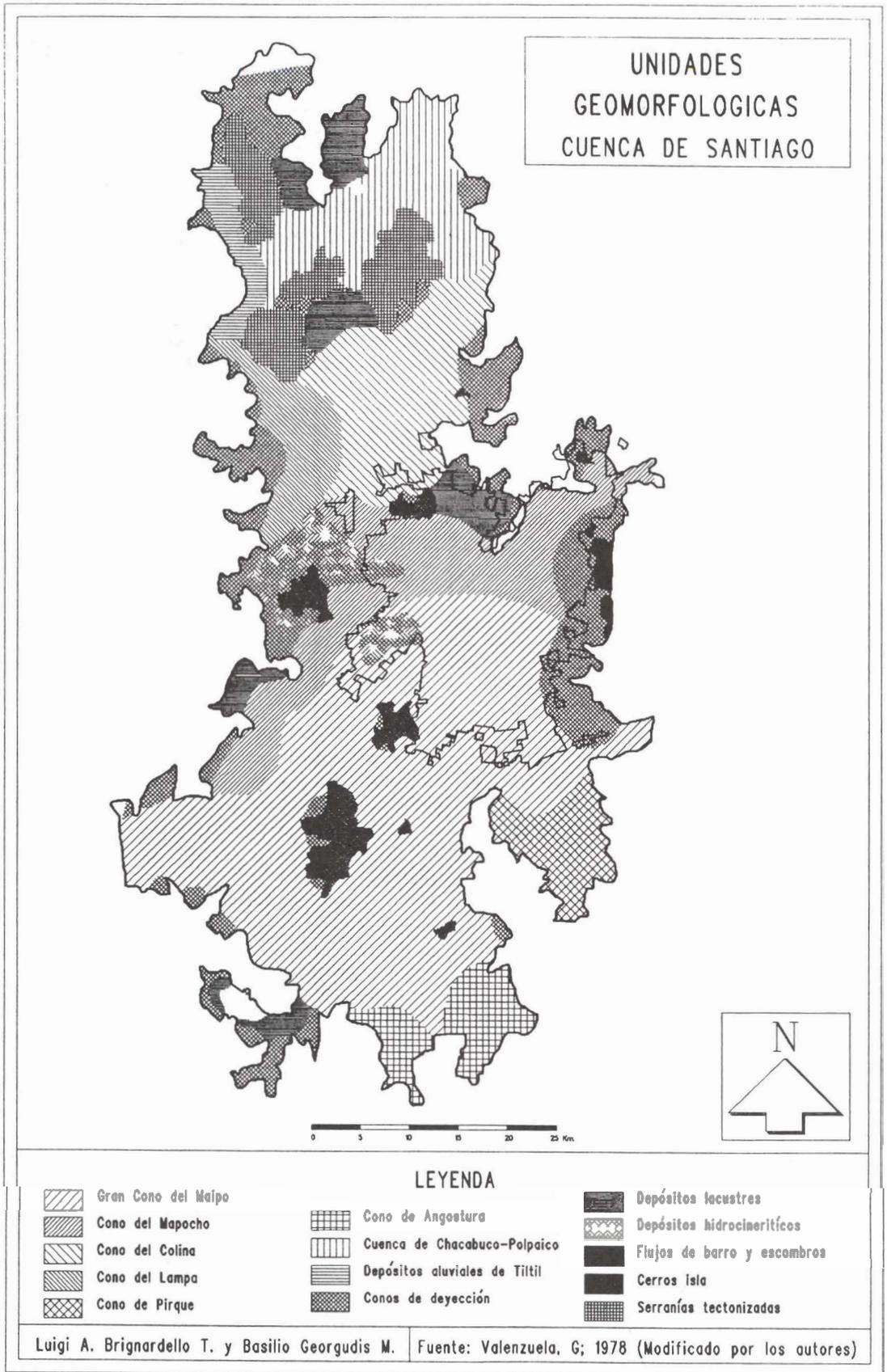


Figura 2.

el 4,8% por sedimentos lacustres. La colmatación de la cuenca por los materiales cuaternarios tiene una expresión espacio-temporal que se manifiesta en la pedogénesis. De esta manera, los suelos originados por adición son claramente mayoritarios en el área, siendo más antiguos aquellos desarrollados por intemperización de los conos aluviales del Mapocho, Lampa y Colina y los más recientes los generados en posición de piedmont o en áreas cercanas a los actuales lechos.

El clima, que juega un rol importante en la génesis del suelo, se caracteriza, en el área, por la concentración de las precipitaciones en la época invernal (entre 250 y 650 mm anuales) y por un prolongado período de sequía estival, donde las precipitaciones en 8 meses sólo representan el 20% promedio del total anual. El ambiente morfoclimático mediterráneo favorece la activación de procesos erosivos, que son más rápidos que los pedogenéticos. Los suelos más antiguos se desarrollaron bajo un paleoclima más cálido y húmedo (Börgel, R., 1966b) que es propicio para los regímenes de podzolización. Sin embargo, ello no se manifiesta claramente en los suelos aluviales debido a los constantes procesos de adición-remoción y de erosión. Los regímenes de laterización recientes y actuales afectan principalmente los suelos del norte de la cuenca, por su clima local árido. Las transformaciones antrópicas debidas a la labranza dificultan la interpretación de los procesos pedogenéticos; empero, es posible determinar un régimen de calcificación, característico de los suelos pedocales, en el área norte de la cuenca.

La vegetación del tipo estepárico no aporta una gran cantidad de materia orgánica al suelo; sin embargo, los arbustos leguminosos y las gramineas entregan una buena cantidad de nutrientes (nitrógeno y bases). Los suelos aluviales de la cuenca se caracterizan por un bajo contenido de materia orgánica y carecen, generalmente, de horizontes superficiales orgánicos, o poseen epipedones ócricos. Es posible localizar algunos sectores específicos donde bajo matorral esclerófilo de abundante cobertura, se desarrollan suelos con epipedones orgánicos úmbricos o, en algunos casos, hísticos.

CLASIFICACION DE LOS SUELOS

De acuerdo a la taxonomía del Sistema Completo de Clasificación de Suelos, los entisoles (suborden *fluvent*) son los suelos con mayor representación areal en la Cuenca de Santiago (Rovira, A., 1985). Sin embargo, es posible identificar en el área algunos suelos más evolucionados (ver figura 3).

Entisoles

Los *fluvents* cubren en un 52,9% la cuenca de Santiago. Se encuentran en posición morfológica de conos de deyección, terrazas fluviales recientes y en planos de inundación (Peralta, M., 1976). Son suelos con un desarrollo del perfil incipiente del tipo A/C de espesor inferior a los 120 cm, de pH neutro (7,3 promedio), de color gris-pardo, texturas moderadamente livianas y estructuras bloquiforme. Los grandes grupos de suelos derivados son *xerofluvents*, con mayor representatividad, *vitrofluvents*, al norte del río Mapocho y *eutrofluvents* al sur del río Maipo.

Suelos menos evolucionados son los *orthents*, localizados en las áreas de mayor pendiente de los conos de deyección, en sectores piedmontanos y montañosos. El perfil tipo A/C presenta un espesor inferior a los 80 cm., de texturas muy livianas, estructura granular a prismática y color gris oscuro. Los *xerorthents* (regosoles de clima mediterráneo) se encuentran sobre sustratos aluvio-coluviales recientes y actuales, mientras que los *haplorthents*, mucho más incipientes (litosoles), se emplazan sobre la roca fundamental de cerros isla y estribaciones montañosas. Los *orthents* cubren un 7,9% de la cuenca de Santiago.

Los *psamments*, representados por *xeropsamments*, se localizan al NW de la cuenca y en los lechos de inundación. Formados a partir de materiales aluviales (Peralta, M., 1976), presentan un perfil incipiente de color gris-pardo, texturas livianas y estructura granular a laminar. Su representación espacial es discontinua y muy reducida (0,4% de la cuenca).

Inceptisoles

Suelos menos incipientes pertenecen al orden inceptisol, y constituyen suelos más evolucionados a partir de los materiales de origen. En la mayoría de los casos representan entisoles más desarrollados (Honorato, R. y R. Núñez, 1975), siendo difícil establecer el límite que separa ambos órdenes de suelos o que establece el inicio o fin de la gradación.

Los *ocrepts* corresponden a los de mayor representación areal (25,3% de la cuenca). De ellos, los grandes grupos *xerocrepts* y *entrocrepts* se sitúan en posición morfológica de conos de deyección de mayor potencia (Fuenzalida, H., 1965). Poseen un incipiente horizonte iluvial y un perfil tipo A(B)/C con espesor entre 90 y 150 cm, color gris oscuro a gris-pardo y texturas francas a moderadamente livianas o pesadas. Se localizan al NW, W y S de la cuenca de Santiago. Algunos *ocrepts* presentan alteraciones locales, especialmente al norte del área. El gran grupo

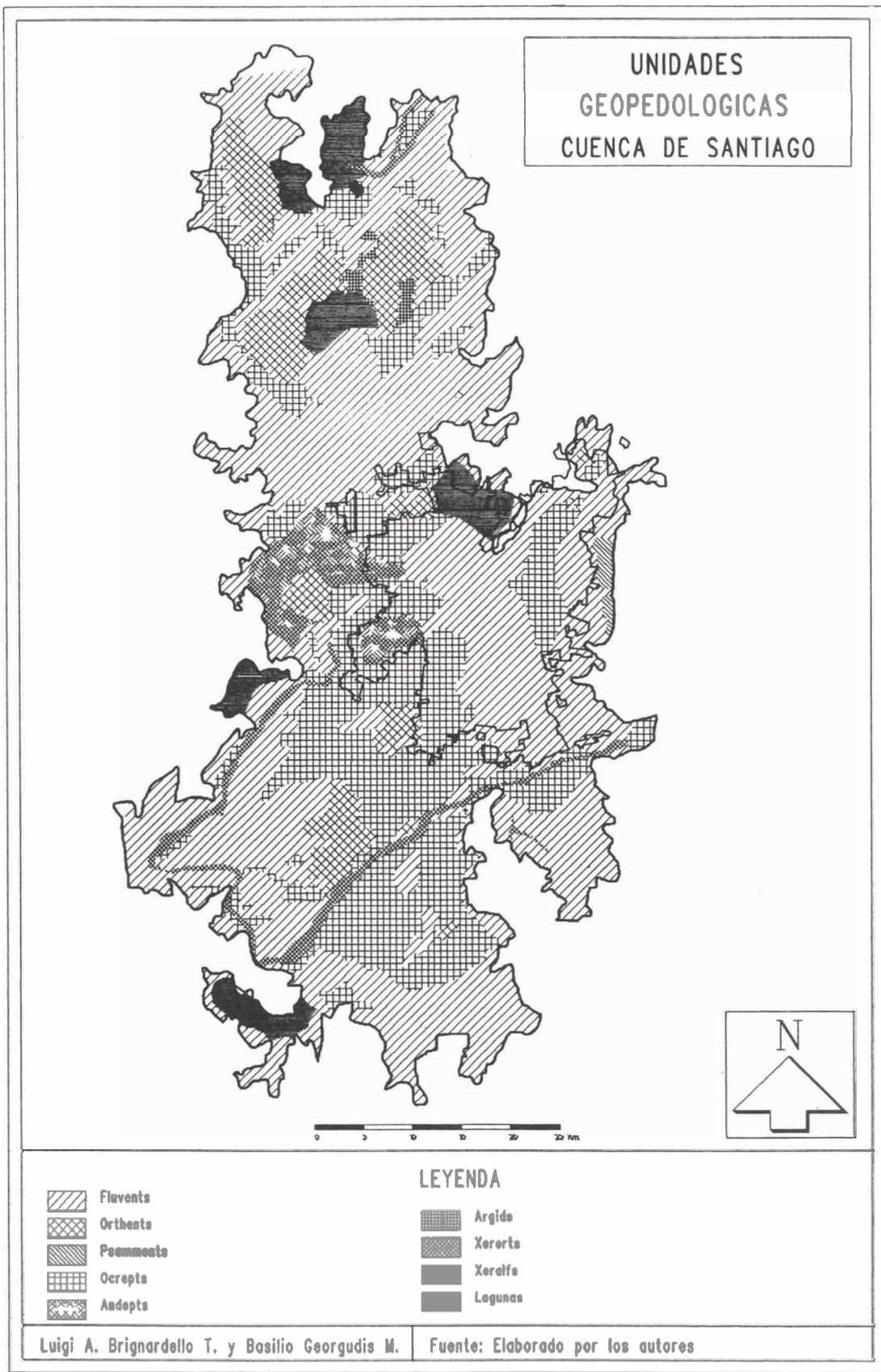


Figura 3.

halocrepts (suelos salinos o sódicos) está asociado a las condiciones xeromórficas del norte de la cuenca y constituyen suelos de transición a los aridisoles (Honorato, R., 1975). Tienen un pH de 9,2 promedio, color gris oscuro, texturas moderadamente pesadas y estructuras prismáticas. Asociados al anterior gran grupo, se encuentran los *hidrocrepts*, que presentan condiciones de mal drenaje y un nivel freático muy cercano a la superficie.

Otro suborden de los inceptisoles son los *andepts* (*ocrandepts* y *durandepts*), que cubren el 3,3% de la cuenca y se sitúan al W de ella. Son suelos derivados de materiales volcánicos, especialmente ceniza, lapilli y otros clastos aluviales y volcánicos en la matriz. Son suelos relativamente delgados, color gris pardo claro a pardo claro, textura moderadamente liviana (Lucio, W. y E. Meléndez, 1974). En algunos casos, en el horizonte iluvial se ha formado una tosca o costra por intemperización (Fuenzalida, H., 1965).

Aridisoles

Suelos de mucha menor representatividad areal son los aridisoles (*argids*), situados al N de la cuenca (0,4%). Presentan variaciones derivadas de su posición topográfica y composición mineralógica que van desde los *haplargids* hasta los *halargids*. Son suelos poco profundos de color gris oscuro a gris-pardo y texturas moderadamente livianas a moderadamente pesadas. En asociación con otros suelos halomórficos, los *argids* (*natrargids* y *halargids*) representan suelos muy sensibles a la erosión y de escaso valor agrícola.

Vertisoles y alfisoles

Los suelos más evolucionados de la cuenca y de poca representatividad espacial son los vertisoles y alfisoles. Los primeros (*xererts*) corres-

ponden a suelos aluviales de texturas pesadas expandibles y color gris-pardo a pardo oscuro y espesor entre 150 y 180 cm con horizonte iluvial relativamente delgado. Los *cromoxererts* situados en las cajas fluviales y los *nadurxererts*, localizados en planos adyacentes, son los grandes grupos representativos. Estos cubren un 2,4% de la cuenca.

Los alfisoles (*xeralfs*) de mayor evolución pedogenética son suelos poco desarrollados en la cuenca (4,8%). Se sitúan en planos de inundación fluvial o lacustres, poseen texturas moderadamente pesadas a pesadas, con estratos de texturas livianas, espesor del perfil de 120 a 160 cm y colores pardo a gris oscuro. El subgrupo *limmic natraxeralf* representa a los suelos lacustres, mientras que el subgrupo *arenic haploxeralf* señala los suelos aluviales.

La tabla II muestra algunas características de los perfiles tipo de diferentes subórdenes de suelos seleccionados entre las 58 series de suelos de la cuenca de Santiago.

CAPACIDAD DE USO Y USO ACTUAL

Predominan los suelos de riego sobre los de secano en la cuenca de Santiago. Los primeros cubren una superficie de 2.560 km², mientras que los segundos sólo alcanzan unos 620 km². El gráfico de la figura 4 muestra la proporción entre las clases de suelo y su representación areal. Las áreas con mejores suelos (clases I y II de riego) se localizan en la periferia inmediata al casco urbano del Gran Santiago, especialmente hacia el sur, bordeando el río Maipo. Otras áreas con la misma categoría se sitúan en el sector Buin-Paine. Los suelos de aptitud moderada (clases III y IV de riego y I y II de secano) se emplazan en casi toda la cuenca, especialmente al sur del río Maipo, al poniente de Santiago y en el

Tabla II

Propiedades y características de algunos suelos de la cuenca de Santiago

Gran Grupo	Serie de suelo	Espesor (cm)	Arenas (%)	Arcillas (%)	Estructura	Color	pH	m/o (%)	Precipitaciones (mm)
Eutrofluent	El Túnel	60	54	33	Bloquiforme	10YR 3/3	6,5	5,2	650
Haplorient	Los Loros	60	44	38	Masiva	10YR 4/2	6,1	3,8	600
Xeropsamment	Lo Vargas	160	58	16	Bloquiforme	10YR 3/2	7,7	3,3	350
Xerocrept	Las Rejas	270	29	24	Bloquiforme	7,5 YR 3/2	7,0	1,6	400
Ocraudept	Pudahuel	180	51	17	Bloquiforme	7,5YR 4/2	7,3	4,3	400
Halargid	Lampa	170	48	21	Masiva	10YR 3/2	8,5	2,6	300
Cromoxerert	Peralillo	210	42	31	Bloquiforme	10YR 3/3	8,4	2,8	300
Natraxeralf	Rungue	n.d.	45	32	Granular	5YR 4/2	5,6	2,5	550

Elaborado por los autores en base a resultados promedios obtenidos a partir de análisis en laboratorio y terreno e información de CIREN.

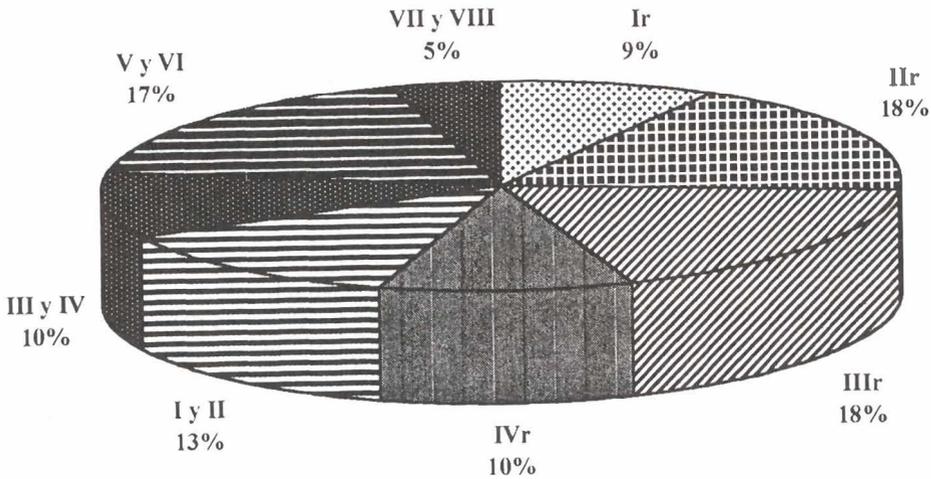


Figura 4: Capacidad de uso del suelo.

sector de Lampa y Tiltit. Los suelos con restricciones moderadas (clases III y IV de secano) se localizan principalmente al norte del río Mapocho y al poniente de Santiago. Los suelos con restricción severa (clases V y VI de secano) se ubican en algunos sectores aislados del piedmont de Santiago y a los márgenes de la cuenca (IREN, 1966). Finalmente, los suelos sin aptitud agrícola (clases VII y VIII) se localizan en áreas abruptas, como cerros islas y con malas condiciones de drenaje o muy pedregosos (lechos de ríos y esteros).

Por otra parte, de acuerdo al INE (1993), en la cuenca de Santiago unas 189.770 ha (52%) tienen un uso agropecuario, de las cuales 80.210 ha se emplean en cultivos. El gráfico de la figura 5 muestra el detalle del uso del suelo, según grupos de cultivo. Espacialmente, las áreas cerealeras se localizan al norte y sur de la cuenca, en suelos de clase III y IV de riego o II, III, IV y V de secano; las hortalizas y flores se sitúan rodeando el casco urbano sobre suelos de riego de clases I, II y III; las viñas y parronales se sitúan al sur y suroriente de la cuenca en suelos de riego clases I, II y III. La masa ganadera en 1993 incluía unos 60.000 bovinos y 30.000 ovinos en el área de estudio. De ello se desprende que la capacidad de carga en la cuenca de Santiago es de aproximadamente 2,6 cabezas de ganado por hectárea de pradera (naturales y cultivados).

El mapa de la figura 6 interpretado a partir de una imagen satelital, muestra la distribución del uso del suelo en la cuenca, mientras que la tabla III exhibe la relación entre el uso del suelo y la capacidad de uso. De la tabla III se desprende que el uso del suelo agrícola en la cuenca de Santiago es intensivo y no existe una subutilización de los suelos según su aptitud de uso.

PROBLEMAS AMBIENTALES DE LOS SUELOS

La acelerada expansión urbana de Santiago, fundamentada en el bajo valor de los suelos de la periferia de la conurbación y las normas permisivas que el Estado impone para reducir el déficit habitacional (Larraín, P., 1992); el aumento de la erodabilidad, resultado de la sobreutilización de los suelos y la reducción de la vegetación nativa; y la contaminación de los suelos; son variables importantes de considerar, puesto que son las causas que explican la continua disminución del espacio agrícola en la cuenca de Santiago.

El primer factor mencionado —la expansión urbana— evidencia ciertos aspectos interesantes de discutir. Desde hace cuatro décadas esta situación ha sido tratada por diversos especialistas, tecnócratas y políticos, pasando, en este lapso, de un problema netamente agrícola a un problema social y ambiental. En efecto, la incorporación de suelos de riego al casco urbano del Gran Santiago debido a las causas ya expuestas, ha producido algunos costos sociales y externalidades negativas, tanto como efectos exógenos o endógenos que se generan en la gran ciudad: transformación de los modos de vida periurbanos, pérdida de tiempo en desplazamientos periferia-centro por deterioro en la conectividad y extensión de las distancias, falta de accesibilidad interna, congestión, contaminación, segregación urbana producto de la marginalidad, hacinamiento y disminución de la calidad de vida derivadas de las patologías sociales, entre otras. De este modo, a la lucha constante de los agricultores y campesinos rurales durante años por controlar el desmesurado crecimiento de la planta urbana de Santiago, se suma la de los habitantes urbanos. Al respecto,

GEOPEDOLOGIA DE LA CUENCA DE SANTIAGO

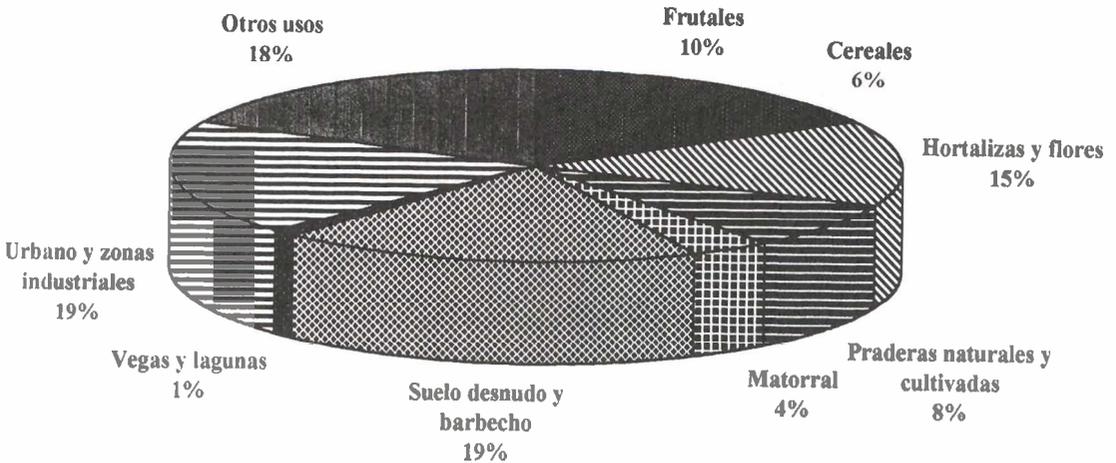


Figura 5: Uso del suelo en la cuenca de Santiago.

Tabla III

Relación entre el uso del suelo y la capacidad de uso del suelo

Usos del suelo (en Ha)	CAPACIDAD DE USO DEL SUELO (EN HA)							Total
	S.D.	Ir y IIr	IIIr y IVr	I y II	III y IV	V y VI	VII y VIII	
Urbano y zonas industriales	233,5	270,5	109,8	5,3	1,4	0,0	0,0	620,5
Frutales	0,0	109,3	130,9	91,1	0,0	0,0	0,0	331,3
Cereales	0,0	38,9	47,4	59,8	53,2	0,0	0,0	199,3
Hortalizas y flores	0,0	184,5	181,6	97,3	0,0	0,0	0,0	463,4
Praderas	0,0	2,8	8,6	5,3	48,3	124,4	64,5	253,9
Matorral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,6	64,4	113,0
Suelo desnudo y en barbecho	0,0	113,7	167,6	107,5	109,1	98,2	2,5	598,6
Vegas y lagunas	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,0
Otros usos	9,3	55,3	176,9	8,6	87,4	234,5	0,0	572,0
Total	275,8	775,0	822,8	374,9	299,4	505,7	131,4	3.185,0

Fuente: Elaborado por los autores.

un estudio de la CONAMA (1994) señala que entre los principales problemas ambientales percibidos por los habitantes de la Región Metropolitana se encuentra la pérdida de suelos por la expansión urbana. Recientemente se han tomado algunas medidas para fijar ciertos límites a la expansión urbana mediante instrumentos de regulación territorial, como el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (1994), se fomentan subsidios para la renovación urbana en sectores desmejorados del casco antiguo (Ley 18.595 del 21 de enero de 1987) y se establecen otras políticas destinadas a la densificación estableciendo, por ejemplo, que el suelo es un bien escaso (PNDU, 1985).

Durante las dos últimas décadas, el potencial agrícola ha aumentado por la utilización de tecnología cada vez más adecuada y por esto es posible pensar que la pérdida de suelos de riego no sea hoy una preocupación mayor para la sociedad

y sus autoridades. La duda está en lo siguiente: ¿hasta cuándo será posible implementar un sistema de sustento agrícola basado en el desarrollo de la tecnología considerando el crecimiento demográfico? El mejoramiento de las comunicaciones y el aumento de los flujos de comercio ayudan a mantener esta situación, pero esta se hará insostenible cuando los precios de los productos agrícolas y de la tierra adyacente a las ciudades lleguen a un punto tal en que se piense en la conveniencia de densificar la ciudad y limitar su expansión horizontal.

En nuestro caso, de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la modelación en el SIG y considerando que las condiciones que regulan la planificación urbana no se modifiquen —y sin incluir el crecimiento de ciudades satélites (Padre Hurtado-Peñaflor, Talagante-El Monte, Colina, Lampa, Tiltit y Buin-Maipo), que ya ocupan

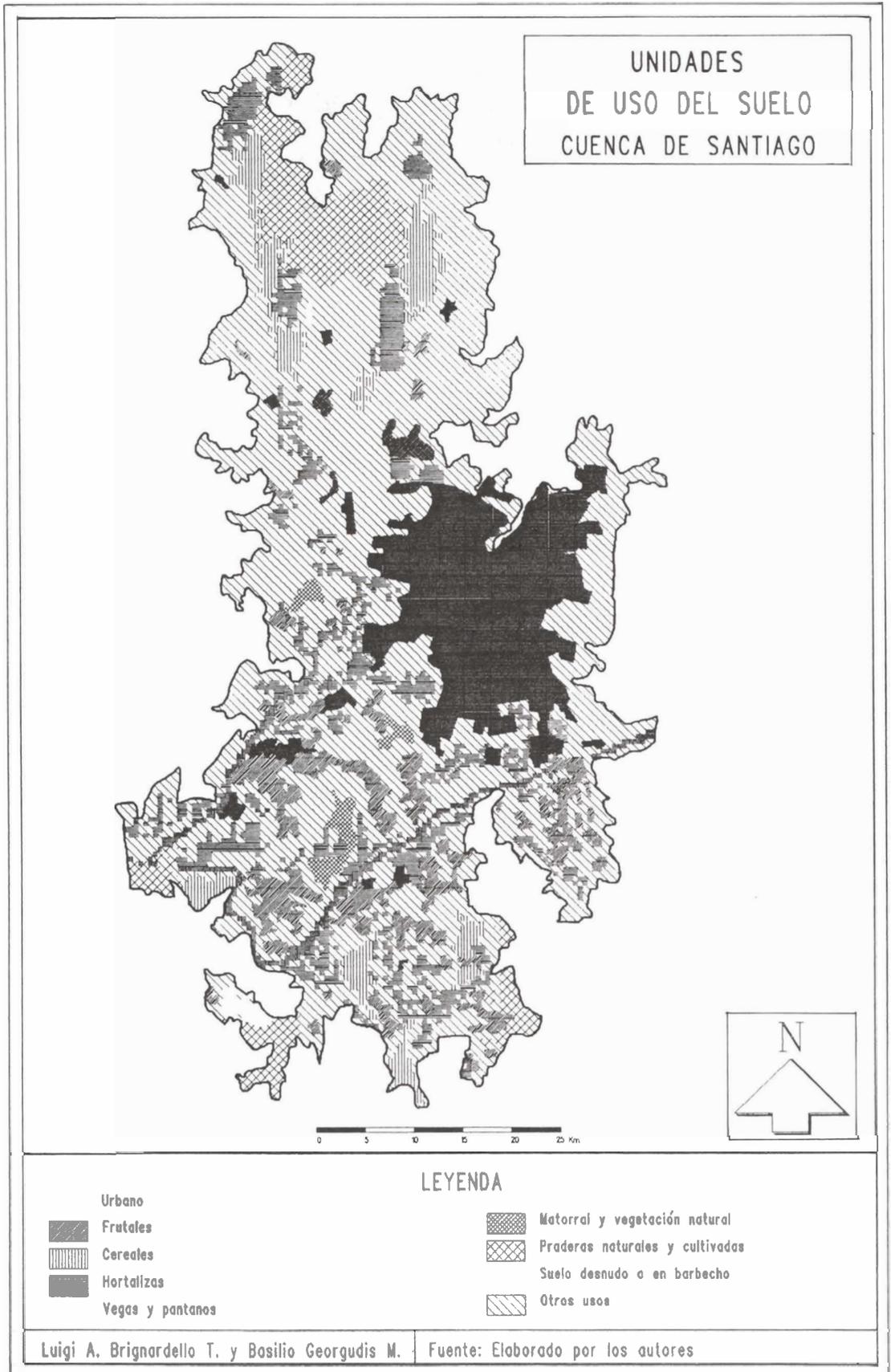


Figura 6.

7.000 ha- se estima que al año 2010 unas 12.000 ha de suelo agrícola (clases I a IV) se incorporarán al uso urbano en la cuenca de Santiago.

En la figura 7 se observa el crecimiento sobre los suelos agrícolas del Gran Santiago, mientras que la tabla IV muestra el ritmo de crecimiento de la población y del casco urbano, y la disminución de los suelos agrícolas y la densidad poblacional. En los últimos 40 años la población de Santiago ha aumentado a tasas anuales promedio de 2,6%, descendiendo en los últimos años a 1,7% anual; en tanto, la superficie del casco urbano se ha acrecentado a un ritmo promedio de 3,2% anual, aumentando a 3,5% en los últimos 15 años. A este ritmo, para el año 2010 la cuenca de Santiago disminuirá de 33 ha en 1995 a unas 28 ha de espacio agrícola por cada 1.000 habitantes. Esta reflexión sólo considera la pérdida de suelo por la expansión urbana propiamente tal.

Otro factor importante de pérdida de suelo agrícola es el proceso de erosión hídrica. Si bien las condiciones naturales de los suelos de la cuenca de Santiago dificultan el desencadenamiento de procesos erosivos, en el último tiempo, tanto los cambios ambientales como la inadecuada utilización de los suelos por parte directa del hombre han aumentado la erodabilidad de los suelos. El concepto de erodabilidad corresponde al estado intrínseco del regolito frente a los agentes erosivos, y esta depende de la susceptibilidad de los factores internos del sistema suelo a ser deteriorado en relación a la resistencia a ser degradado, otorgada por los elementos externos. En el área de estudio se ha constatado un aumento de la susceptibilidad por las prácticas agrícolas inadecuadas y una disminución considerable de la

resistencia debida al desmantelamiento de la vegetación y a los cambios ambientales que producen períodos de sequía más intensos y cuyos efectos adversos recaen sobre la capa edáfica y la vegetación.

Los suelos del sector norte de la cuenca de Santiago están afectados más severamente que los del sector sur. La variable climática es fundamental en este proceso, ya que la energía cinética de las lluvias es más erosiva en el sector septentrional. Se ha considerado como antecedente la intensidad de las precipitaciones en otoño (período crítico de la erosividad en zonas de clima mediterráneo) para las estaciones de Rungue (15,9 mm/días-lluvia en mayo) y de El Bosque (13,1 mm/días-lluvia en mayo), comprobando que si bien es cierto las lluvias son más abundantes hasta en un 38% al sur y centro de la cuenca de Santiago que en el norte, la intensidad es levemente mayor en el sector norte con frecuencias espasmódicas en sus eventos.

Con los antecedentes de susceptibilidad (pendiente, exposición de laderas, textura del suelo) y de resistencia (cobertura vegetal) se confeccionó un layer de erodabilidad en el SIG que entregó como resultado que el 28% de la cuenca presenta una alta erodabilidad (903,2 km²), el 32% una erodabilidad moderada (1.030,9 km²) y el 40% restante una erodabilidad baja (1.250,9 km²). Esta última cifra no debe confundir ya que aquí se han incluido los 55 km² de la planta urbana de Santiago. De estas cifras se pueden calcular los suelos vulnerables a la erosión y determinar la pérdida de suelos por erosión o la disminución de su aptitud agrícola por la misma causa.

Por otra parte, los focos de contaminación de los suelos en la cuenca de Santiago son, princi-

Tabla IV

Crecimiento de la planta urbana del Gran Santiago y de la población, y pérdida de suelos agrícolas

Año	Población (en miles)*	Crecimiento anual (en porcentaje)	Superficies (en hectáreas)				Superficie urbana	Crecimiento anual (en porcentaje)	Densidad (hab./ha)
			Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV			
1800	-	-	-	-	-	-	303,36	-	-
1900	325	-	-	-	-	-	3.184,18	1,6	102,1
1950	1.380	2,4	-	-	-	-	15.971,33	2,5	86,4
1960	1.910	3,7	1.646,2	1.489,4	2.586,9	1.900,4	21.810,03	3,1	87,6
1970	2.730	3,5	2.103,4	2.534,9	1.4788,6	3.117,3	29.596,64	2,0	92,2
1980	3.650	3,0	1.530,4	1.904,2	1.622,1	811,0	38.649,15	2,7	94,4
1995	4.720	1,6	3.483,7	3.971,1	3.734,2	1.045,1	55.582,89	3,5	84,9

Fuente: Cálculos de los autores a partir de las bases de datos SIG

* Datos INE, 1994.

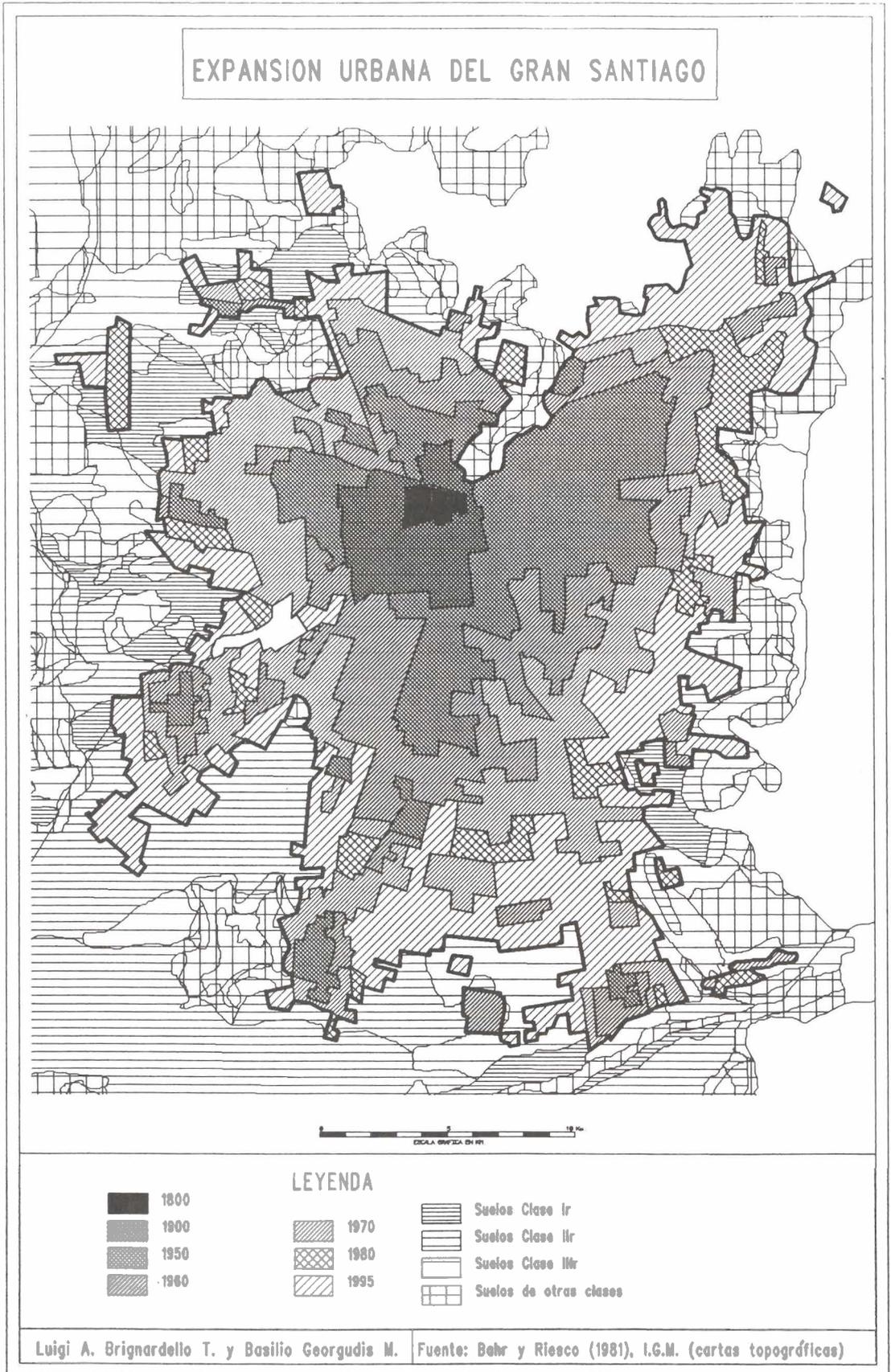
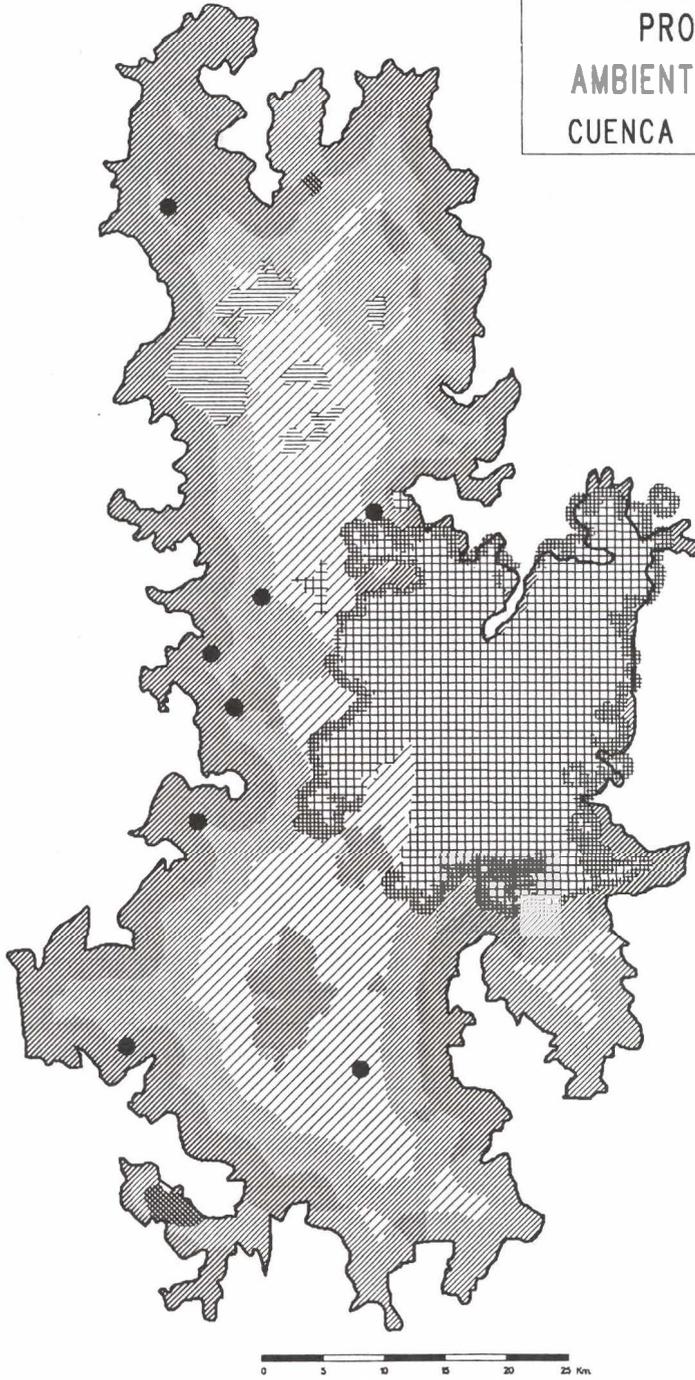


Figura 7.

PROBLEMAS
AMBIENTALES EN LA
CUENCA DE SANTIAGO



GRADO DE ERODABILIDAD
 Sin erodabilidad aparente
 Moderada erodabilidad
 Alta erodabilidad

LEYENDA

Focos de Contaminación
 Suelos afectados por salinización
 Area urbana (a 1995)
 Area urbanizable (al 2010)

Luigi A. Brignardello T. y Basilio Georgudis M.

Fuente: Elaborado por los autores

Figura 8.

palmente, los cursos superficiales de aguas. En efecto, en ellos se vierte la casi totalidad de residuos líquidos y sólidos domésticos e industriales. El riego de suelos agrícolas con aguas servidas es frecuente en el sector sur y suroccidental de la cuenca, hasta donde desaguan los afluentes del río Mapocho. Es posible afirmar que este es el sector rural más contaminado del área debido al estancamiento que allí se produce por efecto del represamiento topográfico. Las napas freáticas son contaminadas a partir de estos puntos, y aquellas que presentan un nivel cercano a la superficie contaminan, por capilaridad, los suelos. Otros focos son las industrias metálicas y químicas localizadas en el sector periférico del Gran Santiago. Desde ellas, y por efecto del viento dominante de dirección SW, las áreas al norte y noreste de estas áreas industriales presentan deterioro a causa de la decantación de partículas tóxicas. La acumulación de desechos, pese a ser un fenómeno geográficamente disperso y no muy intenso, es otra fuente de contaminación de suelos. Asimismo, las prácticas inadecuadas de desmalezaje (quemadas) y de riego, producen efectos conexos como la salinización de los suelos y otras alelopatías que acentúan la pérdida o degradación de los suelos.

La figura 8 sintetiza el estado ambiental de los suelos en la cuenca de Santiago. A la luz de los resultados obtenidos, entre un 20 a 25% de los suelos de la cuenca presentan condiciones ambientales de degradación y un 18% están en vías de desaparición por la apremiante expansión del casco urbano de Santiago y por el permanente proceso erosivo a que está expuesto el territorio de la cuenca.

CONSIDERACIONES FINALES

Los suelos de la cuenca de Santiago, que han sido formados a partir de materiales sedimentarios de diversas características, son de incipiente desarrollo y poseen escasa materia orgánica. Así se clasifican, mayoritariamente, de acuerdo a la taxonomía propuesta por el Sistema Completo de Clasificación de Suelos, en fluvents y ocrepts. Pese a estas características, gracias a las condiciones naturales del área y al mejoramiento que el hombre ha realizado, son suelos de elevada productividad.

El tipo morfoclimático mediterráneo impone un estado de fragilidad ambiental al sistema natural. En este sistema, el suelo posee un equilibrio precario debido a la fuerte presión antrópica en el área. Aunque se ha comprobado que, en general, la utilización del suelo en la cuenca es la adecuada, según la capacidad de uso que ellos

poseen, los cambios ambientales que se manifiestan en el área de estudio (desertificación, generación de fenómenos morfoodinámicos extremos) junto a los impactos negativos que la acción antrópica produce, están deteriorando y disminuyendo considerablemente la superficie agrícola más productiva del territorio nacional.

Si bien este problema ya es considerado por las autoridades —desde la óptica urbana— incorporando mesuradamente la dimensión ambiental en la planificación urbana, los efectos parecen ser ya irreversibles. Asimismo, al no comprender que el espacio geográfico es un sistema integrado en el cual los elementos que lo componen están estrechamente relacionados, es difícil efectuar esfuerzos para lograr una adecuada ordenación ambiental que permita establecer usos armónicos del territorio con las variables y factores del sistema natural.

Sin duda, la problemática que hemos tratado en esta contribución es una más del conjunto de incoherencias que se presentan en la relación hombre-medio surgidas como resultado del desconocimiento —ya sea involuntario o consciente— del funcionamiento del sistema ambiental en que vivimos; sin embargo, el problema aquí planteado tiene la particularidad que comienza a afectar, paulatinamente, de una u otra forma a un tercio de la población del país.

Por último, creemos que, en esta materia, es fundamental la labor del geógrafo, quien puede enfrentar, con éxito, este y otros problemas similares debido a que por formación dicho profesional está capacitado para integrar y correlacionar en forma analítica los parámetros y elementos del sistema ambiental incorporando la variable espacial, generalmente olvidada, en estudios de esta naturaleza. Un simple ejemplo de ello es este diagnóstico integrado y la correspondiente evaluación presentados en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BÄHR, J. y R. RIESCO (1981): *Estructura urbana de las metrópolis latinoamericanas. El caso de la ciudad de Santiago*. En: Rev. de Geogr. Norte Grande N° 8, PUC. Santiago, Chile. pp. 27-55.
- BLEYER, P. y A. RENGIFO (1971): *Pérdida de terrenos agrícolas de riego por avance urbano en la Provincia de Santiago entre los años 1956 y 1970*. SAG, Santiago.
- BORDE, J. 1966. *Les Andes de Santiago et leur avant pays*. Ed. Union Française d'Impression, Bordeaux, Francia.
- BÖRGEL, R. (1966a): *Geomorfología cuaternaria de la Cuenca de Santiago*. En: Estudios Geográficos. Edit. Universitaria, Santiago, Chile. pp. 41-54.
- BÖRGEL, R. (1966b): *Cuaternario en la cuenca de Santiago. Evidencias geomorfológicas para un intento de datación relativa*. En: Informaciones Geográficas. Edit. Universitaria, Santiago, Chile. pp. 43-50.

- CIREN-CORFO (1991): Avance urbano y pérdida de suelos agrícolas en el Gran Santiago entre 1971 y enero 1991. CIREN, Santiago.
- COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (1994): Percepción de los problemas ambientales en las regiones de Chile. CONAMA, Santiago. 648 pp.
- FUENZALIDA, H. (1965): *Suelos*. En: Geografía Económica de Chile. Texto Refundido. CORFO. Impr. Universitaria, Santiago, Chile. pp. 200-227.
- HONORATO, R. (1975): *Caracterización y génesis de algunos suelos del área de Batuco*. En: Rev. Ciencia e Investigación Agraria Volumen 2 N° 1. Santiago, Chile. pp. 11-22
- HONORATO, R. y R. NUÑEZ (1975): *Características evolutivas de los suelos derivados de sedimentos fluviales del río Maipo*. En: Rev. Ciencia e Investigación Agraria Volumen 2 N° 3-4. Santiago, Chile. pp. 135-150.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES (1964): Suelos. Descripciones. Proyecto Aerofotogramétrico. Chile/OEA/BID. Pub. N° 2. IREN-CORFO, Santiago, Chile.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS (1970): Hidrogeología de la Cuenca de Santiago. IGM. Santiago, Chile.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS (1993): Estadísticas Agropecuarias 1992/1993. INE. Santiago, Chile.
- LARRAIN, P. 1992. *El sistema natural en la planificación urbana chilena*. En: Rev. de Geogr. Norte Grande N° 19. PUC. Santiago, Chile. pp. 59-68.
- LUCIO, W. y E. MELENDEZ (1974): *Macromorfología y micromorfología de algunos suelos derivados de materiales pumicíticos en la zona central de Chile*. En: Rev. Ciencia e Investigación Agraria Volumen 1 N° 3. Santiago, Chile. pp. 143-150.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO (1985): Política Nacional de Desarrollo Urbano. MINVU, Santiago.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO (1995): Plan Regulador Metropolitana de Santiago. Editorial y Catálogos. Santiago.
- PERALTA, M. (1976): Uso, clasificación y conservación de suelos. Min. de Agricultura. Santiago, Chile.
- ROVIRA, A. (1985): Geografía de los Suelos. En: Colección Geográfica de Chile; Tomo XI. IGM. Santiago, Chile.
- THIELE, R. (1980): Hoja Santiago, Región Metropolitana. Carta Geológica de Chile N° 39. Servicio Nacional de Geología y Minería. 51 pp. Santiago, Chile.
- TOLEDO, X. y E. ZAPATER (1989): Geografía General y Regional de Chile. Ed. Universitaria. Santiago, Chile.
- VALENZUELA, G. (1978): Suelo de fundación del Gran Santiago. Boletín N° 33. Servicio Nacional de Geología y Minería. 84 pp. Santiago, Chile.