



**prosa**

Centro para la  
Promoción de la Conservación  
del Suelo y del Agua

ROBERTO R. CASAS  
GABRIELA F. ALBARRACIN

**EL  
DETERIORO  
DEL SUELO Y  
DEL AMBIENTE  
EN LA  
ARGENTINA**

**Tomo 2**

**FECIC**  
FUNDACIÓN PARA LA EDUCACIÓN  
LA CIENCIA Y LA CULTURA



Presidencia  
de la Nación

Ministerio de  
Agricultura,  
Ganadería y Pesca



• ROBERTO RAÚL CASAS •  
• GABRIELA FABIANA ALBARRACÍN •

# EL DETERIORO DEL SUELO Y DEL AMBIENTE EN LA ARGENTINA

## Tomo II



Buenos Aires  
2015

El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina / Roberto R. Casas ... [et al.].

1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación Ciencia, Educación y Cultura. FECIC, 2015.

v. 2, 456 p.; 23 x 16 cm.

ISBN 978-950-9149-40-3

I. Degradación de Suelos. I. Casas, Roberto R.,  
CDD 550.1

Contenido y corrección a cargo de los autores

Idea y diseño de tapa y carátulas: Arq. Juan C. de la Fuente

Realización de la tapa: Juan M. Rodríguez

Impreso por Editorial Dunken

Ayacucho 357 (C1025AAG) - Capital Federal

Tel/fax: 4954-7700 / 4954-7300

E-mail: [info@dunken.com.ar](mailto:info@dunken.com.ar)

Página web: [www.dunken.com.ar](http://www.dunken.com.ar)

Hecho el depósito que prevé la ley 11.723

Impreso en la Argentina

© 2015 Roberto Raúl Casas; Gabriela Fabiana Albarracín

e-mail: [fundacion@fecic.org.ar](mailto:fundacion@fecic.org.ar)

ISBN 978-950-9149-40-3

# **Degradación de suelos como consecuencia de la actividad minera y la expansión urbana en la provincia de Buenos Aires; implicaciones**

MARTÍN A. HURTADO, LUIS M. FORTE,  
MARIO M. DA SILVA, DANIEL E. MUNTZ Y ANTONIO CENDRERO

## **Introducción**

Desde hace tiempo se ha señalado la importancia de las actividades humanas en los cambios que afectan a la superficie terrestre (Marsh, 1874; Thomas, 1956). El interés por conocer mejor esos cambios y la preocupación por sus consecuencias se han incrementado en tiempos más recientes (WCED, 1987; Turner et al., 1993; IPCC, 1995, 2007; EEA, 1998; UNEP, 2000; Naredo y Valero, 1999; Naredo, 2003, Bai et al., 2008; Slaymaker et al., 2009).

Son numerosos los análisis realizados para conocer con mayor profundidad las consecuencias de las actividades humanas sobre el clima o la biosfera, y también los estudios sobre los efectos que las actividades agrícolas o forestales tienen sobre los procesos de erosión-sedimentación. Sin embargo, son mucho más escasos los trabajos encaminados a conocer los efectos de otras actividades humanas sobre la superficie sólida del planeta, incluyendo los suelos, si bien se han realizado algunos análisis (por ejemplo, Costa, 1975; Meade, 1982; Archer et al., 1987; Goudie, 1984, 1993, 1995; Douglas, 1990; Luttig, 1987, 1992; Walling, 1996; Phillips, 1999; Slaymaker, 2000, 2009). Sin embargo, hay todavía un conocimiento limitado de la magnitud y significados cualitativos, de los efectos directos e indirectos que sobre los suelos y los procesos geológicos superficiales producen actividades tales como la expansión de centros urbanos, el desarrollo de infraestructuras o las explotaciones mineras (Hooke, 1994, 1999). Ese insuficiente conocimiento existe también en Argentina.

Los efectos citados son particularmente marcados en los centros urbanos y sus entornos próximos. El desarrollo de los centros urbanos da lugar a distintas actividades que afectan a los procesos geomorfológicos en general y a los suelos en particular. Estas incluyen excavaciones de gran magnitud, tanto para extracción de materiales de construcción como para el asentamiento de edificios o distintos tipos de infraestructuras. Como consecuencia de lo anterior, se produce un considerable transporte directo de suelos y otros materiales geológicos (y también indirecto, consecuencia de la alteración de la superficie). Se forman así nuevos ambientes y se construyen nuevas “antropogeoformas”, cuya importancia en la

conformación y evolución del paisaje y en la degradación de los suelos es cada vez mayor. En esos lugares se desencadenan diferentes procesos, tales como acumulación de agua, reducción de la infiltración, inestabilidad de las nuevas geoformas creadas, colapso de cavidades, erosión acelerada, acumulaciones de residuos de diferente naturaleza, etc. Todos ellos pueden tener consecuencias ambientales importantes para la población de los entornos afectados. Entre los citados efectos cabe señalar su contribución a la intensificación de los procesos de generación de sedimento y aumento de la escorrentía, los cuales, a su vez, pueden tener serias repercusiones sobre los riesgos de inundación (Wolman y Schick, 1967; Wolman, 1967; Sowa et al., 1990; Trimble, 1997; Rawat et al., 2000; Lu, 2005).

La población urbana, especialmente en países emergentes como los de América Latina, está creciendo de manera muy rápida. Ello implica un crecimiento acelerado de los entornos urbanos (en sentido lato, incluyendo aquí las áreas industriales y las zonas afectadas por actividades extractivas).

La población urbana en América del Sur era de alrededor del 50% a mediados del pasado siglo, y de 75% en América del Norte, esperándose que llegue al 80% en la mayor parte del planeta hacia 2050 (UNEP, 1997). Otras estimaciones sitúan la población urbana de Latinoamérica en alrededor de 85% para 2025 (De Mulder and McCall, 2001). En el caso de la Provincia de Buenos Aires, la población urbana pasó del 71% en 1947 al 97% en 2010 (DPE, 2014). En ese mismo periodo, la población provincial aumentó desde 4.273.874 a 15.625.084 habitantes, y la densidad de población de 14 a 51 habitantes/km<sup>2</sup>. La consecuencia ha sido un gran aumento de la extensión de las áreas urbanas, y un fuerte incremento de actividades que implican la destrucción o degradación del suelo, con frecuencia afectando a los suelos de mayor calidad.

Trabajos previos realizados por el grupo de investigación (Giménez et al., 2002; Rivas et al., 2006) han puesto de manifiesto la importancia de las modificaciones que las actividades humanas están produciendo sobre los rasgos geomorfológicos (la “huella geomorfológica humana”) en el entorno de la ciudad de La Plata y otras áreas urbanas de la provincia de Buenos Aires, entre las cuales tienen unos efectos particularmente significativos las relacionadas con las explotaciones mineras de materiales de construcción, básicamente suelos. También es importante la contribución de los procesos de expansión de la ciudad, tanto en lo referente a la construcción de nuevos edificios como al trazado de calles o el tendido de redes de servicios (Forte, et al., 2003). Todo ello, a su vez, tiene consecuencias ambientales en términos de productividad y de riesgos para la población, las cuales es conveniente analizar y evaluar.

El objetivo general del análisis que se presenta aquí es cuantificar los efectos geomorfológicos de las actividades de expansión urbana y de extracción de materiales y sus consecuencias sobre los suelos. Se ha utilizado como caso de estudio

el Partido de La Plata, complementándose con datos de otras zonas a fin de hacer una estimación de lo que estos procesos pueden suponer para el conjunto de la Provincia de Buenos Aires.

## Metodología

Los métodos de análisis utilizados se han descrito anteriormente (Giménez et al, 2002, Forte, et al., 2003, Rivas et al, 2006; Hurtado et al., 2006; Hurtado et al., 2008); Hurtado, 2015). En esta contribución solo se describen de manera somera para facilitar la comprensión de los resultados que se presentan.

Las líneas esenciales de la metodología implican: a) determinación de las superficies afectadas por actividades (expansión urbana, infraestructuras, minería) que alteran físicamente el territorio y los suelos y volúmenes movilizados por las mismas; b) estimación de los efectos indirectos de éstas y otras actividades sobre los procesos de erosión/sedimentación; c) identificación de procesos desencadenados como consecuencia de las modificaciones geomorfológicas citadas, que impliquen consecuencias para los suelos o riesgos ambientales.

Partiendo de los datos de volumen excavado por unidad de superficie para distintos tipos de usos urbanos (Tabla 1) y de la determinación de la expansión de la ciudad a lo largo del tiempo (Fig. 1), así como de la cartografía de zonas sujetas a minería de suelos y de la profundidad de las excavaciones, se pudo determinar la superficie y el volumen afectados (Tabla 2). En esta tabla se presentan de manera conjunta los datos de los dos grandes tipos de explotaciones de la minería de suelos en la zona: a) Decapitaciones, en las que se extrae el horizonte A, y a veces la parte superior del horizonte B u horizontes de transición, con profundidades de alrededor de 30 cm que en raras ocasiones alcanza los 50 cm. b) Cavas, en las cuales se extraen los horizontes A, B, y C e incluso material original, y que pueden alcanzar los 20 m de profundidad, si el nivel freático es suficientemente profundo.

Las zonas afectadas por excavaciones y acumulaciones están mucho más expuestas a los agentes erosivos, por lo que contribuyen de manera apreciable a la generación de sedimento. No hay datos directos sobre las tasas de denudación en el entorno de La Plata, pero se han podido hacer estimaciones basadas, por un lado, en los datos aportados por Marelli et al., 1985; James, 1989; Edeso et al., 1991; Díaz de Terán et al., 1992; Nicolau & Asensio, 2000; Cendrero, 2003; Mol & Ouboter, 2004; Hancock & Willgoose 2004; Bacchus. 2008, y por otro lado, en cálculos por medio de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978; Toy et al, 1999).

El volumen de materiales sólidos (suelos, y en menor medida material subyacente) movilizados de manera directa o indirecta por estas actividades se puede expresar como:

$$TM = TED_{ui} + TED_c + TDI_{uic}$$

Siendo:

TM= tasa de movilización total;

TED= tasa de excavación directa;

TDI= tasa de denudación indirecta en superficies perturbadas;

u= actividades urbanas; i= infraestructuras; c=canteras.

Todos los términos de la ecuación anterior se pueden expresar en  $m^3/año$  o  $mm/año$ .

Con el fin de evaluar la importancia relativa de estos procesos y de los procesos naturales en la zona, se obtuvieron datos sobre las tasas de erosión en distintas zonas de la Pampa húmeda que permanecen en condiciones casi naturales o afectadas por agricultura, a partir de datos de campo y de cálculos aplicando la USLE (Nani et al., 1980; Bernardos et al., 2001; Becker et al., 2001,2002; Bujan et al., 2003; Viglizzo et al., 2003,2006; Gellis et al., 2004; Gottfriedt et al., 2004; Hurtado et al., 2008; Trigo et al., 2009; Alvarez & Steinbach 2009; Chartier & Rostagno, 2010; Sasal et al., 2012; Andreau et al., 2012; Kraemer et al., 2013).

## Resultados y discusión

### *Contribución directa de la huella geomorfológica humana*

Los resultados obtenidos en el análisis realizado en la ciudad de La Plata se resumen en las Tablas 1 y 2. En la figura 1 se muestra la evolución temporal de la ocupación de territorio para usos urbanos. La figura 2 muestra la superficie ocupada por persona en distintas fechas.

**Tabla 1.** Excavaciones promedio en La Plata, por tipo de uso

Áreas urbanas	$m^3/m^2$
muy alta densidad	1,06
alta densidad	0,57
media densidad	0,44
baja densidad	0,24

Rutas	$\times 10^6 \text{ m}^3/\text{km}$
ruta nacional	0,03
ruta local	0,02

**Tabla 2.** Población, superficie afectada y volumen excavado por actividades urbanas y mineras en La Plata

Año	Habitantes	Urbano $\text{km}^2$ .	Urbano $\text{m}^2/\text{pers}$	Minería $\text{km}^2$ .	Minería $\text{m}^3 \times 10^6$
1890	56.425	12,22	216		
1910	81.868	19,8	242		
1932	133,130	28,6	215		
1960	269.991	62,27	231		
1966		70,66		119,33	41,78
1970	408.327				
1978		111,17			
1980	473.434				
1991	542,917				
1997		153,96		206,17	96,5
2001	571,416	162,96	285		
2004		190,6			
2012	654,324	222,14	339	258	120

*NOTA IMPORTANTE: Las superficies afectadas por excavaciones (la gran mayoría correspondientes a decapitaciones), expresan valores acumulados desde la fundación de la ciudad, no la superficie ocupada por la actividad en la fecha de referencia. Gran parte de esas "decapitaciones históricas" se han cubierto posteriormente por edificios, al irse expandiendo la ciudad. La superficie actualmente afectada por la actividad y no cubierta por usos posteriores es menos de la mitad del acumulado histórico.*

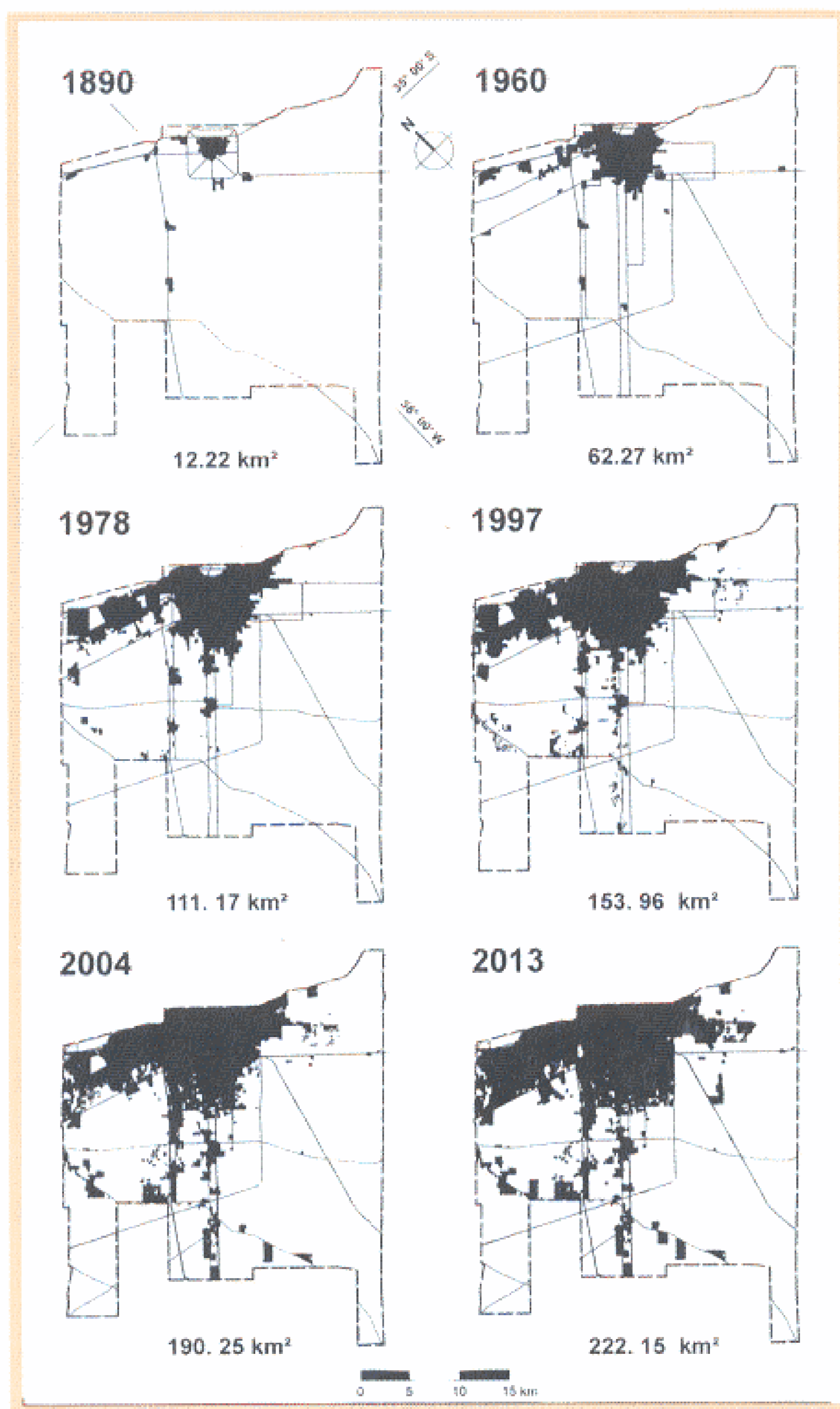
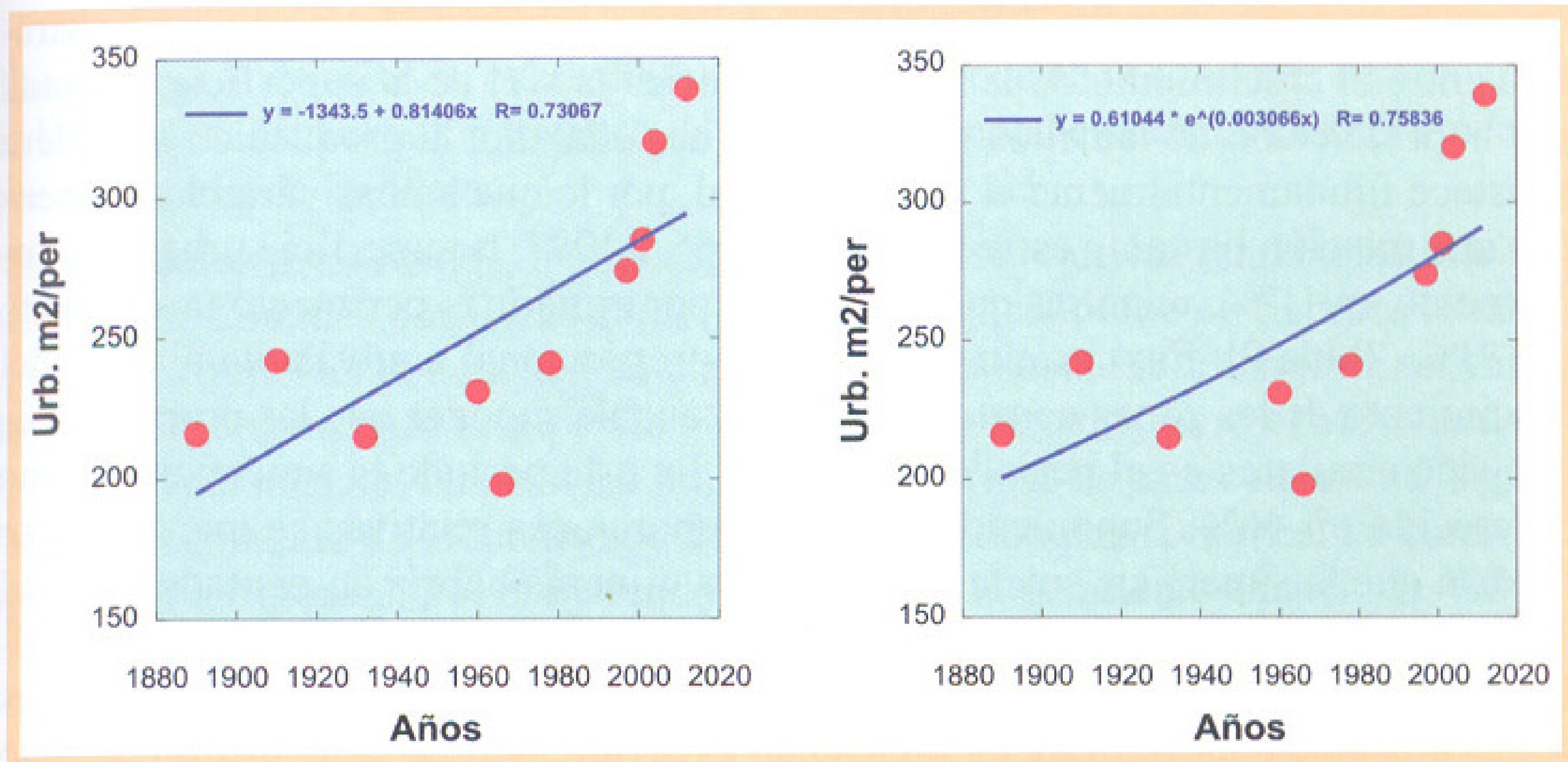


Figura 1. Desarrollo de la mancha urbana de La Plata en el periodo 1890-2013.



**Fig. 2.** Evolución temporal de la superficie urbana ocupada por persona en la ciudad de La Plata, con ajustes de tipo lineal (izquierda) y exponencial (derecha). Se aprecia claramente el fuerte aumento de la pendiente a partir de 1980, lo que revela una intensificación del proceso.

Una de las primeras cosas que salta a la vista observando los datos anteriores es el notable aumento de la superficie urbana promedio que cada persona ocupa, que pasó de 216 a 285 m<sup>2</sup>/persona entre 1890 y 2001, y 339 m<sup>2</sup>/persona en 2012, lo que representa un crecimiento del orden del 33% en el primer periodo y ligeramente superior al 50% para el conjunto del intervalo considerado. En otras palabras, el ritmo de crecimiento del área urbana es significativamente mayor que el de la población. Los datos sobre volúmenes excavados para la misma actividad en fechas antiguas son poco precisos y no permiten hacer cálculos fiables. Sin embargo, no hay duda de que a medida que ha avanzado el tiempo la profundidad promedio de las excavaciones en las zonas urbanas ha aumentado, por lo que, aunque no se pueda cuantificar su efecto, está claro que los volúmenes excavados han debido crecer aún en mayor medida.

En lo que respecta a las superficies afectadas y volúmenes excavados por la minería de suelos, los datos son menos fiables, pero suficientes para marcar las tendencias. La superficie afectada en 2012 se ha determinado a través del análisis de cinco zonas de muestreo, elegidas de manera que cubran de forma representativa los distintos tipos de entornos urbanos. El análisis para esas zonas ha mostrado incrementos en la superficie afectada por extracciones entre 11% y 59%, con un valor promedio para las cinco zonas del 38%.

El valor anterior se ha contrastado con lo que se deriva del análisis comparativo entre el crecimiento de la superficie edificada y el de la superficie afectada por la producción de ladrillos. Como ya se ha señalado, la producción ladrillera abastece fundamentalmente el mercado local, por lo que ambas variables presentan una relación bastante estrecha. Entre 1966 y 1997, la superficie urbana se incrementó un 117%, mientras que la afectada por minería experimentó un aumento del 71% (Tabla 2). Esto es, un crecimiento proporcional equivalente al 60% del crecimiento de las zonas construidas. Es razonable suponer que las proporciones han sido similares en el periodo 1997-2012. En este periodo la superficie urbana ha crecido un 46%. Suponiendo que las proporciones relativas se mantienen se tendría que la superficie sujeta a actividades mineras habría aumentado más del 30% en el mismo periodo. Este valor es bastante similar al que se deriva del análisis en las zonas de muestreo. De manera conservadora, se puede estimar que las zonas afectadas por minería de suelos han experimentado en este último periodo un aumento de al menos un 25%. Esa es la base utilizada para calcular las cifras correspondientes que figuran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen de los resultados sobre la huella geomorfológica humana (HGH) en el partido de La Plata

HGH en m <sup>2</sup> /pers/año				HGH en m <sup>3</sup> /pers/año			
Urbano	Minería	Infraestructura	Total	Urbano	Minería	Infraestructura	Total
5,1	5,7	0,5	11,3	1,7	4,8	1	6,5

Lo anterior pone de manifiesto que la huella geomorfológica humana (HGH, expresada como m<sup>2</sup> y m<sup>3</sup> por persona y año) crece con el tiempo. Esto es coincidente con lo señalado en análisis recientes sobre el cambio geomorfológico global (Bonachea et al., 2010; Bruschi et al., 2013a, b). Dichos autores proponen que el principal impulsor de esta y otras manifestaciones de cambios sobre la superficie terrestre es la conjunción de los aumentos de población, capacidad económica y tecnológica, para los cuales se puede utilizar el PIB como indicador de síntesis.

Con los datos obtenidos en las determinaciones y estimaciones anteriores, se puede calcular la HGH total (teniendo en cuenta las contribuciones de la expansión urbana, infraestructuras y minería) en el partido de La Plata en las últimas décadas del pasado siglo, que sería de 11,3 m<sup>2</sup>/persona/año y 6,5 m<sup>3</sup>/persona/año (Tabla 3).

Análisis similares realizados anteriormente en las áreas urbanas de Mar del Plata y Río Cuarto (Rivas et al., 2006) mostraron tendencias similares de aumento de la HGH, si bien el valor absoluto de ésta en esas poblaciones, es bastante menor que en el caso de La Plata.

Los datos presentados, han puesto de manifiesto que las tendencias inicialmente determinadas por Rivas et al. (2006) se han acentuado en tiempos recientes. Una extrapolación de la tendencia determinada hasta 2001 arrojaría un valor de 311 m<sup>2</sup>/persona para la superficie ocupada actualmente, pero el valor real es de 339 m<sup>2</sup>/persona, tal como se ha indicado más arriba. Es particularmente significativo el aumento de la intensidad del proceso en tiempos recientes, tal como se aprecia en la figura 2, por el marcado aumento de la pendiente a partir de 1980.

### *La contribución indirecta*

Las superficies excavadas o las acumulaciones de materiales resultantes de las excavaciones, al estar desprotegidas y constituidas fundamentalmente por materiales sueltos, son mucho más sensibles a la acción de los agentes erosivos. La estimación de la contribución a la generación de sedimento de las zonas afectadas por excavaciones y acumulaciones está basada en observaciones puntuales (no sistemáticas) en la zona de estudio y en la comparación con datos o estimaciones obtenidos a partir de trabajos en la Pampa húmeda y en otras regiones. Por ello, los valores que aquí se presentan han de considerarse con la debida cautela.

Las observaciones de superficies alteradas y desprotegidas en el entorno de La Plata, tales como taludes artificiales y acumulaciones en explotaciones, han mostrado que este tipo de superficies experimentan erosiones que con frecuencia superan 4 cm/año. Valores bastante similares han sido descritos en el N de España por Edeso et al. (1991) y Cendrero (2003). En Estados Unidos, Wolman y Schick (1967) presentaron valores de hasta 18 cm/año. Un análisis realizado en varias cuencas urbanas en la ciudad de Río Cuarto (Cantú et al., 1996) arrojó valores entre 0,5 y 3,04 cm/año. Por otro lado, hemos hecho estimaciones a partir de la USLE para condiciones de máxima degradación, como las que corresponden a estas zonas afectadas por excavaciones, y teniendo en cuenta los materiales, condiciones geomorfológicas y climáticas del entorno de La Plata. Utilizando los valores: R=100; K=0,3; LS=0,25; C=1; P=1, se obtuvo una tasa de 17 t/ha/año, equivalente a una denudación de 1,4 mm/año.

En el entorno de Río Cuarto, aplicando los valores: R=108; K=0,7; LS=0,18; C=1; P=1, se calculó una tasa de 30,5 t/ha/año, equivalente a una denudación de 2,54 mm/año. Valores más altos de 3,6 mm/año, se han obtenido para otros lugares de la Pampa húmeda (Marelli et al., 1985). Otros trabajos (James, 1989; Toy

et al., 1999; Nicolau et al., 2000; Mol & Outbater, 2004; Bacchus, 2008; Nepstad et al., 2009), basados en observaciones de campo o en estimaciones indirectas, han dado valores de erosión en este tipo de superficies que se sitúan entre 4,4 y 0,4 cm/año.

Con los datos anteriores, una estimación conservadora de las tasas de erosión en estas zonas degradadas por actividades urbanas y mineras del partido de La Plata, se sitúa en 1,5-2,5 mm/año. Dado que el área anualmente afectada por las actividades citadas y expuesta a erosión es de unos 10 km<sup>2</sup> en el conjunto del partido, la contribución del volumen total erosionado a la huella geomorfológica humana en la zona sería de 0,03 m<sup>3</sup>/persona/año, o bien 0,02 mm/año. Esta es una contribución muy pequeña en comparación con la HGH directa, pero como se comenta a continuación, significativa si se compara con los procesos naturales.

### *Contribución de los procesos naturales*

La evaluación del significado de los valores obtenidos anteriormente sobre la denudación directa e indirecta debida a las actividades de expansión urbana, infraestructuras y minería, pasa necesariamente por su comparación con la magnitud de los procesos naturales equivalentes.

Se han realizado los cálculos correspondientes para condiciones “naturales” (en realidad, las condiciones casi naturales existentes en las amplias zonas de pasturas dedicadas a ganadería extensiva) en el entorno de La Plata. Utilizando los valores: R=100; K=0,3; LS=0,25; C=0,01; P=1, se obtuvo una tasa de 0,17 t/ha/año, equivalente a una denudación de 0,01 mm/año. En el caso de zonas de cultivo, con R=100; K=0,3; LS=0,25; C=0,5; P=1, la tasa obtenida fue 8 t/ha/año, equivalente a una denudación de 0,7 mm/año. Cálculos similares para la zona de Río Cuarto proporcionaron tasas de 0,479 t/ha/año, equivalentes a 0,05 mm/año, para zonas de pasturas con ganadería extensiva (R=121; K=0,67; LS=0,591; C x P= 0,01). En zonas de cultivo, con R=121; K=0,67; LS=0,591; C x P= 0,306, la tasa fue 14,66 t/ha/año, equivalente a 1,04 mm/año.

Los datos experimentales obtenidos en otras partes de la Pampa húmeda por distintos autores son muy semejantes a los anteriores. Nani et al. (1980) determinaron tasas de 0,5 mm/año para suelo desnudo, 0,3 mm/año para cultivos de lino, 0,1 mm/año para trigo y 0,01 para pasturas (condiciones “naturales”). Para zonas cultivadas de la Pampa ondulada, Bujan et al. (2003) midieron tasas de 0,5-2 mm/año. Por su parte, Becker et al. (2002), obtuvieron valores de 0,007-0,035 para cultivos de girasol no sometidos a aradura o con aradura limitada. Utilizando otros tipos de métodos, distintos autores (Moscatelli & Pazos, 2000; Bernardos et al., 2001; Viglizzo et al., 2003; Gottfriedt et al., 2004; Alvarez & Steinbach, 2009;

Chartier & Rostagno, 2010; Andreau et al., 2012; Sasal et al., 2012; Kraemer et al., 2013) han obtenido para esta región valores que oscilan entre 0,01 y 2,1 mm/año. En resumen, el conjunto de datos anteriores indica que las tasas de erosión correspondientes a condiciones naturales en esta región son del orden de  $10^{-2}$  mm/año.

Es conveniente hacer una comparación entre las distintas tasas de denudación obtenidas (denudación directa por excavación, denudación indirecta en las zonas perturbadas por actividades humanas, erosión en zonas con condiciones casi naturales). Para ello, se ha considerado que los volúmenes totales obtenidos en los dos primeros tipos de denudación se distribuyen homogéneamente en toda la zona de estudio (el partido de La Plata), cosa que evidentemente no se corresponde con la realidad, pues las áreas afectadas representan una pequeña proporción del total. Ese artificio permite hacer comparaciones entre valores expresados por medio de las mismas magnitudes. Los resultados correspondientes, en mm/año, son:

Denudación directa: 3,6  
Denudación indirecta: 0,09  
Erosión en zonas “naturales”: 0,01

Naturalmente, los datos anteriores presentan incertidumbres y deben tomarse como aproximaciones, pero son bastante reveladores. Aceptando la validez de los órdenes de magnitud de las tasas obtenidas, se aprecia que, con gran diferencia, la principal contribución a la denudación del suelo se debe a las excavaciones directas por distintas actividades humanas (la “denudación tecnológica” de Brown, 1956). La denudación indirecta en las áreas así afectadas es 1-2 órdenes de magnitud inferior, pero aun así es considerablemente superior (un orden de magnitud) a la contribución de los procesos naturales.

### *Consecuencias e implicaciones*

Los resultados presentados tienen, además del interés científico inherente a un mejor conocimiento del funcionamiento actual de los procesos superficiales que afectan al suelo y la influencia humana sobre los mismos, implicaciones de tipo práctico y teórico. Por un lado, la aparición de las nuevas “antropogeofor-mas” desencadena distintas formas de degradación ambiental, tal como ha sido señalado por Rivas et al. (2006), Giménez et al., (2002), Hurtado et al. (2008) y Hurtado (2015). Por otro lado, la importancia de los cambios antrópicos descritos aporta elementos a un debate de actualidad en las Ciencias de la Tierra, la posible definición del Antropoceno como una nueva época geológica.

En relación con los efectos ambientales nos limitaremos aquí a analizar y evaluar dos que resultan especialmente significativos en la zona de estudio. La

degradación de la capacidad productiva de los suelos y la aparición de ciertos riesgos ambientales.

### *Efectos de la decapitación sobre la productividad de los suelos*

La minería de suelos se realiza fundamentalmente por decapitación del horizonte A, y a veces también de la parte superior del horizonte B, los que en mayor medida determinan la calidad y productividad de los suelos. Por ello, la actividad descrita implica el deterioro de un recurso natural de alto valor.

La decapitación de suelos en la zona implica la eliminación del horizonte A (20-40 cm en general), dejando expuesto el horizonte Bt, que tiene un elevado contenido de arcillas (entre 45 y 65%). En muchos casos esto afecta a suelos con clases de capacidad de uso I-III (Klengel y Montgomery, 1961), previamente dedicados a la agricultura. Los suelos así decapitados no solamente resultan inutilizables para cultivos, sino incluso para pasturas, ya que la elevada proporción de arcillas hace que prácticamente no permitan el crecimiento de la vegetación herbácea, muy especialmente de las especies de interés agropecuario. Sí que es posible, por el contrario, el crecimiento de especies arbóreas que lógicamente, enraízan en niveles más profundos. Por lo tanto, aunque se puede considerar que los suelos decapitados pierden de forma total su productividad desde el punto de vista agrícola, no se pierde totalmente la productividad biológica, dado que esos terrenos conservan cierta capacidad de producir biomasa arbórea o arbustiva.

Para evaluar la posible pérdida de productividad como consecuencia de la decapitación, se acudió a determinar el crecimiento de ciertas especies ampliamente utilizadas en reforestación y recuperación de suelos: *Eucalyptus camaldulensis*, *E. viminalis* y *E. dunnii* (Giménez et al., 2002).

Se seleccionaron dos parcelas en las inmediaciones de la ciudad de La Plata en las cuales el suelo era Argiudol vértico, uno sometido a decapitación (muestra) y otro con su perfil completo (control). En cada uno de ellos se establecieron 12 parcelas experimentales, en las que se plantaron 11 hileras con 14 plantas cada una (154 en total). Se utilizaron plantines de 6 meses de edad, y en todos los casos se plantaron en hoyos de 15 cm de diámetro y 30 cm de profundidad. Los plantines se regaron en el momento de la plantación, en diciembre, y otras dos veces en marzo, antes del siguiente periodo de lluvias. Se midieron los parámetros de crecimiento 1 año y 5 años después de la plantación. Los parámetros medidos fueron altura y dbh ("diameter at breast height"; a 1,5 m de altura). Se calculó la producción de madera, expresada en m<sup>3</sup>/ha/año, utilizando un coeficiente mórfico de 0,5 y una densidad de 1111 plantas/ha.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4. Según se observa, 5 años después de la plantación la altura y dbh en la parcela decapitada eran 50,9 y 47,9% inferiores para *E. camaldulensis*, 63,5 y 63,2% para *E. viminalis*, y 73,7 y 75,8% para *E. dunnii*. A partir de los datos anteriores y utilizando el coeficiente y densidad antes indicados, se calculó la producción de madera en ambas parcelas. Los resultados se presentan en la Tabla 5. La reducción para las especies utilizadas varió entre 86,5 y 98,5%. Es decir, la decapitación implicó una fortísima reducción de la productividad biológica del suelo, no solamente de la productividad agrícola.

**Tabla 4.** Altura y diámetro a la altura del pecho (dbh) de los árboles plantados en las parcelas decapitadas (1) y con perfil completo (2)

Parcela	Primer año		Quinto año			
	Altura (m)		Altura (m)		dbh (cm)	
	1	2	1	2	1	2
<i>E. camaldulensis</i>	0,65	2,16	5,88	11,94	7,75	14,87
<i>E. viminalis</i>	0,65	1,96	4,63	12,68	5,27	14,31
<i>E. dunnii</i>	0,67	1,79	3,28	12,46	3,75	15,51

**Tabla 5.** Volumen de madera producido en las dos Parcelas (m<sup>3</sup>/ha/año; modificado de Jiménez et al., 2002)

Parcela	1	2
<i>E. camandulensis</i>	3,1	23,0
<i>E. viminalis</i>	1,0	22,7
<i>E. dunnii</i>	0,4	26,2

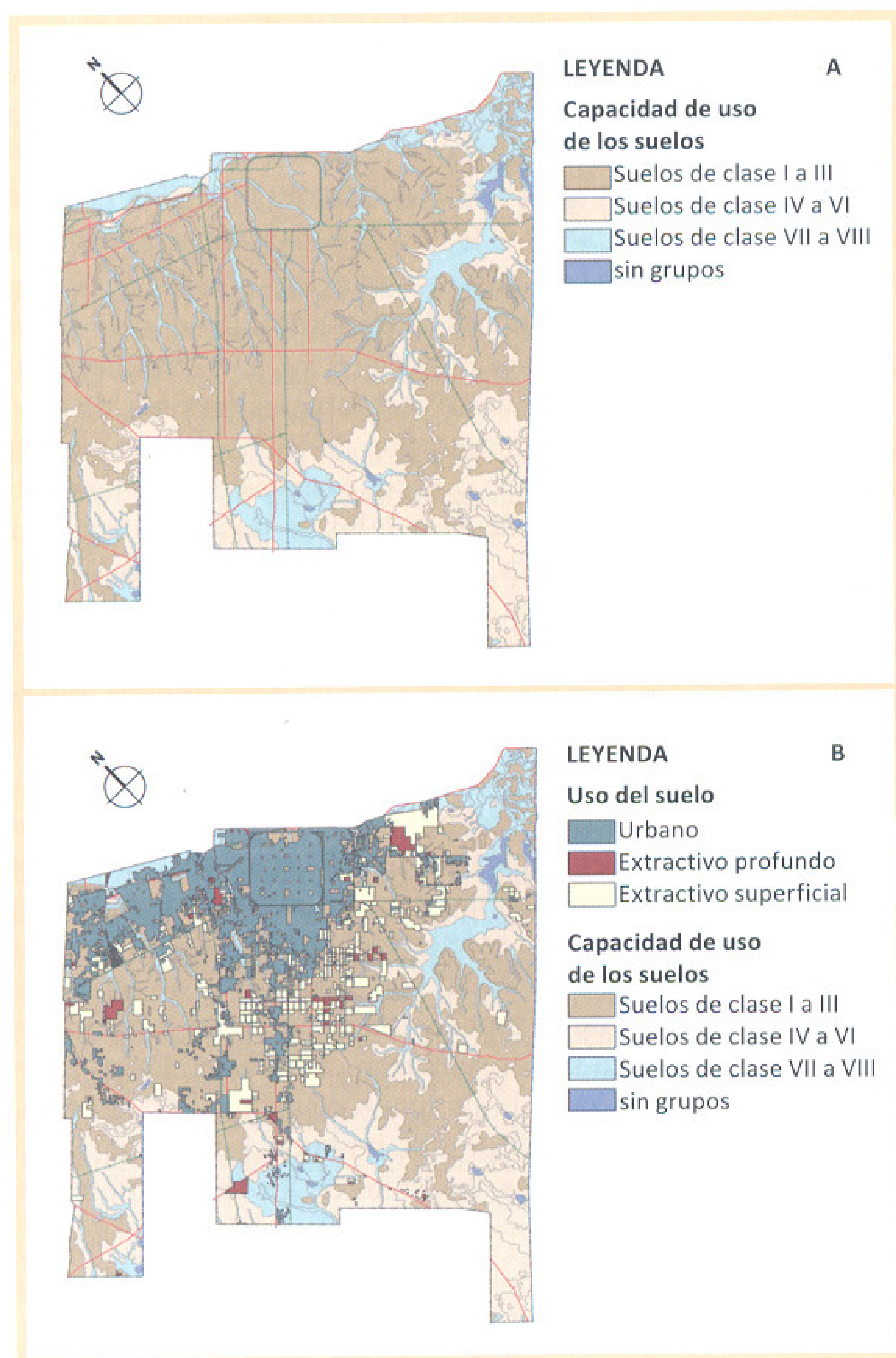
El grado de afección de los suelos de alta calidad se ha determinado por medio de la cartografía de suelos correspondiente a 1882, fecha de fundación de La Plata (Fig. 3), a partir de la cual se ha podido establecer la superficie ocupada en esa fecha por los suelos de clases I, II y III, que en total eran 57.265,83 ha. Existe una estrecha relación entre las unidades geomorfológicas y las unidades taxonómicas de suelos. Las primeras se pueden identificar y mapear para las zonas actualmente cubiertas por las áreas urbanas, en las que además es posible observar

el suelo en puntos no cubiertos por edificios o calles. De esta forma, se ha podido hacer una interpolación de la distribución de los suelos previa a la existencia de la ciudad. Aunque el mapa obtenido no puede considerarse “exacto”, sí tiene una alta fiabilidad, especialmente en lo que se refiere a la delimitación de clases de capacidad de uso del suelo, que es lo que interesa a estos efectos.

La superposición de la extensión ocupada en 2012 por usos urbanos y relacionados (Figura 3B) sobre el mapa anterior (Figura 3A) ha permitido determinar que la superficie actualmente ocupada por los suelos de alta calidad (clases I, II, III) ha sufrido una reducción del 40,63%. Teniendo en cuenta que, de acuerdo con los resultados anteriores, los suelos decapitados experimentan una pérdida de productividad de aproximadamente 90%, la pérdida total experimentada por ese recurso en el partido es equivalente a la pérdida de 20.940 ha de suelos de la más alta calidad.

### *La decapitación de suelos como pérdida de capital natural*

Lo anterior pone de manifiesto que el proceso de degradación que se deriva de la extensión de la huella geomorfológica humana tiene consecuencias sobre la producción y por tanto, que sería interesante evaluar desde el punto de vista económico lo que esa pérdida puede representar. Esto se ha tratado de abordar a través de la estimación de la disminución del potencial productivo de los suelos como pérdida de capital natural (Hurtado et al., 2008). Dichos autores, basándose en los fundamentos teóricos de Samuelson (2003), Varian (2007), Mas-Collen et al. (1995) y en los datos experimentales de Vera y Larocca (2004), intentaron una aproximación a la valoración del factor tierra como capital natural, utilizando dos formas de estimar la valoración económica de la pérdida del recurso suelo como factor productivo: a) por medio de la valoración de la pérdida de producción; b) a través del costo de la mayor cantidad de otros insumos utilizados (reemplazados a una tasa de sustitución implícita en la función de producción) para mantener un nivel de producción constante.



**Figura 3.** Reducción de la extensión correspondiente a los suelos de alta calidad en el partido de La Plata como consecuencia de la expansión urbana, 1882 (A)-2012 (B).

Para calcular el flujo diferencial se consideró un escenario teórico, correspondiente a una plantación de *Eucalyptus* sobre un Argiudol vértico decapitado. En

este escenario teórico, se consideraron tres flujos de idéntica duración precedidos por cinco años de labores de mejoramiento de la estructura del suelo y de sus propiedades químicas y biológicas para el primer ciclo, y de cuatro años para los dos ciclos restantes. De acuerdo con dicho escenario teórico, se calcularon rendimientos del 30%, 60% y 90% respecto al rendimiento por hectárea del escenario control (Vera y Larocca, 2004) para el primero, segundo y tercer ciclo.

Para el planteo de los flujos de fondos se establecieron los siguientes supuestos: (i) los precios de los insumos y bienes en ellos involucrados, se expresaron en moneda de 2008, no suponiendo inflación de precios para los distintos periodos implicados, ya que no resulta un supuesto restrictivo a los fines de este análisis. (ii) La tasa de descuento nominal supuesta fue del 12%; tampoco constituye un supuesto restrictivo, teniendo en cuenta que con tasas de descuento relativamente elevadas y propias de países en vías de desarrollo, se tiene una baja ponderación de valores futuros superiores a 50 años, en términos de valor actual. (iii) A efectos comparativos y en forma consistente con las técnicas financieras, los flujos se compararon para iguales periodos. Esto implicó repetir sucesivas veces los flujos de ambos escenarios hasta igualarlos, lo que sucedió a los 51 años. (iv) Se supone que a partir del año 51 no existen diferencias significativas entre la productividad de los dos escenarios comparados.

Las diferencias esenciales entre ambos escenarios fueron: a) mayores costos por incorporación de insumos tecnológicos en el escenario teórico respecto al escenario control, y b) menor rendimiento por hectárea en escenario experimental. El resultado diferencial obtenido se interpretó como la pérdida de utilidades monetarias por hectárea en momento cero (valor actual). Esto representó la pérdida en términos económicos de la producción al pasar del escenario control al escenario teórico. Dado que no se consideraron cambios en las productividades marginales del resto de los factores, ni tampoco de los precios, la pérdida de valor calculada fue atribuida a la menor productividad del factor tierra. La Tabla 6 presenta una síntesis de los resultados obtenidos de los flujos diferenciales.

**Tabla 6.** Resultados agregados de los flujos diferenciales

Indicador	Escenario suelo decapitado	Escenario control (suelo fértil)	Diferencia
VAN (valor actual neto)	-27.062	4.721	-31.783
VAE (valor actual equivalente)	-3.258	568	-3.826

Los resultados sugieren que la pérdida de productividad de una hectárea de suelo decapitada respecto de otra no decapitada, puede estimarse en \$ 3.826 (pesos argentinos/año; valores 2008), considerando un período de 51 años y medido en términos del valor de la producción de madera de *Eucalyptos sp.* Los resultados sugieren que la referencia al valor del bien final resulta significativa, coherentemente con el marco teórico adoptado.

Por otra parte, los suelos de clases I, II y III, resultan aptos para el uso agrícola y el desarrollo de cultivos de alta rentabilidad, que desalientan su destino para la actividad forestal, mientras que los de clases VI y VII, se consideran solo aptos para el uso pecuario o forestal. En este contexto, el VAE reflejaría aproximadamente el valor de venta de la hectárea de suelo de clase VI o VII, si se considera su valor en términos de la rentabilidad agraria esperada. Este aspecto resulta destacable, porque el valor inmobiliario de la tierra depende de un conjunto de factores independientes de su aptitud para el uso agrario, tales como localización relativa respecto a centros urbanos, proximidad a vías de comunicación, dotación de infraestructura, etc., que incrementan su "aptitud" como soporte de actividades residenciales extra-urbanas, recreativas, comerciales, industriales, etc. Los resultados obtenidos mostraron que la pérdida de productividad de un suelo decapitado medida en términos económicos para la actividad forestal, iguala el valor inmobiliario de una hectárea de suelo de clase VI y VII.

Lo que aquí se presenta debe considerarse solamente como una primera aproximación al tema, de carácter preliminar y que necesita ser refinada. A pesar de esa limitación, los resultados sugieren la conveniencia de profundizar en la evaluación de las externalidades ambientales derivadas de la huella geomorfológica humana, en lo que respecta a la pérdida de la calidad de los suelos. Un análisis económico integral de las actividades que afectan a los suelos (por ejemplo, la minería para elaboración de ladrillos) debería incluir la evaluación de esas externalidades, e internalizarlas en los costes de los bienes producidos.

### *Efectos sobre riesgos ambientales*

Así como la decapitación implica el deterioro de un recurso, la excavación profunda y consiguiente formación de "cavas" implica la aparición de nuevos riesgos ambientales. Las cavas, cuya profundidad puede llegar a 20 m, dan lugar a inestabilidad de taludes artificiales; formación de acumulaciones permanentes o estacionales de agua, con frecuencia de varios metros de profundidad; vertido incontrolado de desechos de todo tipo, muchos de ellos contaminantes. Como consecuencia de lo anterior: contaminación de acuíferos; proliferación de vectores de enfermedades que pueden afectar a la población del entorno; riesgo físico para

las personas por inestabilidad de los bordes de las cavas, caídas o ahogamiento causado por el uso de esos cuerpos de agua como zonas balnearias informales, fundamentalmente por parte de niños y adolescentes. Esto es, la degradación física del suelo desencadena otras formas de degradación ambiental, que conviene evaluar y en su caso, corregir.

Con el fin de evaluar lo que este proceso representa, se ha desarrollado un "índice de peligrosidad de cavas (IPC)". Ese índice se ha aplicado inicialmente en el partido de La Plata, y se ha comprobado posteriormente extendiendo el análisis a otras zonas del Conurbano Bonaerense. El IPC se ha desarrollado como una herramienta para evaluar, sobre la base de parámetros observables o mensurables, los riesgos derivados de la aparición de estas nuevas antropogeofomas, y para ayudar a identificar las medidas de mitigación del riesgo a aplicar. La probabilidad de que ocurran accidentes o aparezcan riesgos sanitarios en el entorno de una cava depende de un conjunto de factores determinables de manera esencialmente objetiva, y a partir de los cuales se puede obtener un índice que exprese el grado de peligrosidad de las cavas.

Los factores e indicadores (unos cuantitativos y otros categóricos) utilizados han sido:

- *Profundidad máxima de agua (cuantitativo)*. Se consideró que una cantera con agua de más de 1 m de profundidad puede dar lugar a ahogamientos por inmersión.
- *Cerco perimetral (categórico)*. Las canteras deberían estar totalmente rodeadas por un cerco de tipo "olímpico" para evitar el ingreso de personas al predio, pero la mayoría de ellas no cumplen con esta regla y tienen alambrado común, bajo, en mal estado o incompleto.
- *Vigilancia (categórico)*. Si en el predio de la cantera viven los propietarios o hay cuidador las 24 horas, se considera que la vigilancia es permanente. Si sólo se controla durante el horario de trabajo, la vigilancia se considera parcial. La mayoría de las canteras abandonadas no presentan ningún tipo de vigilancia.
- *Profundidad máxima de la cantera (cuantitativo)*. Cuanto más profunda es una cantera, mayor peligro de derrumbes o caídas accidentales.
- *Talud de las paredes (cuantitativo)*. Se refiere al ángulo de inclinación de las paredes de la cantera; a mayor ángulo mayor probabilidad de derrumbes y caídas, con los consiguientes riesgos de accidentes cuando se encuentran cerca de caminos, calles, construcciones u otras instalaciones.
- *Accesibilidad (categórico)*. Considera la facilidad para llegar al predio que contiene a la cantera. Se tienen en cuenta el tipo de caminos que conducen a la misma o si se encuentra dentro de una propiedad privada o carece de vías de acceso, casos en los cuales se estaría frente a la situación de menor riesgo.

- *Estado de la cantera (categórico)*. Se refiere a su condición actual, en explotación o abandonada, sin situaciones intermedias. Si la cantera está siendo explotada, hay personas trabajando, por lo que disminuye la posibilidad de ingreso. Además, la necesidad de continuar la explotación a una mayor profundidad requiere la implementación de sistemas de bombeo que depriman artificialmente el nivel freático, lo que disminuye el riesgo.
- *Distancia a zonas urbanas (cuantitativo)*. Cuanto más lejos se encuentre la cantera de las zonas urbanas menor es el peligro de accidentes y la probabilidad de que se viertan en ella residuos domiciliarios.
- *Superficie (cuantitativo)*. Se entiende que a mayor extensión la probabilidad de algún tipo de interacción con las personas es mayor.
- *Superficie cubierta por residuos (cuantitativo)*. Las canteras abandonadas se transforman frecuentemente en vaciaderos clandestinos de residuos, cuyos lixiviados pueden afectar las aguas subterráneas al encontrarse los niveles de los acuíferos aflorando o cerca de la superficie. El consumo de agua freática así afectada es común en barrios carentes de red de agua corriente o de pozos de explotación del acuífero profundo (Puelche). Otro riesgo potencial son las emanaciones provocadas directamente por los residuos o su incineración, que afectan a las áreas urbanas circundantes. Igualmente, a mayor superficie cubierta por residuos, mayor la probabilidad de que haya vectores transmisores de enfermedades infecciosas.
- *Señalización (categórico)*. Las ordenanzas que rigen la actividad extractiva exigen la presencia de carteles que adviertan la proximidad de la excavación en los lugares de posible acceso, pero eso no siempre se cumple, especialmente en el caso de canteras abandonadas.

Los indicadores utilizados para expresar esos factores se resumen en la Tabla 7. Los citados indicadores se transformaron en una escala 0 (situación pésima) -1 (situación óptima), de acuerdo con los límites que se muestran en la misma tabla. Se tiene así que las magnitudes heterogéneas inicialmente utilizadas para expresar los indicadores se transforman en magnitudes homogéneas (escala numérica, adimensional, común), lo que facilita la combinación o integración de los distintos factores considerados. Se aplicó a continuación un procedimiento de agregación ponderada (Cendrero et al., 2003; Bonachea et al., 2005; Bruschi et al., 2011), para obtener un índice numérico que combine todos los factores reseñados (Índice de Peligrosidad de Cavas; IPC). Los valores del IPC se transformaron en clases de peligrosidad acudiendo a un criterio muy simple, la división en intervalos iguales, que se representaron utilizando un código tipo semáforo: Muy alta (rojo) 0 a 0,200; Alta (anaranjado) 0,200 a 0,400; Media (amarillo) 0,400 a 0,600; Baja (verde claro) 0,600 a 0,800; Muy

baja (verde oscuro) 0,800 a 1. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 8 y en el mapa de la figura 4.

**Tabla 7.** Parámetros utilizados para calcular el índice de peligrosidad de cavas

INDICADOR	UNIDAD	INTERVALO		PESO
		1	0	P
Profundidad máxima de agua	m	0	>1	0,250
Cerco perimetral		completo olímpico	Ausente	0,200
Vigilancia		permanente	Ausente	0,150
Profundidad máxima de cantera	m	<1	>10	0,100
Talud de las paredes	grados	<45	>80	0,050
Accesibilidad		aislada	contigua a calle de alto tránsito	0,048
Estado		activa	abandonada	0,045
Distancia a zonas urbanas	km	>1	<0,1	0,043
Superficie	ha	<1	>10	0,040
Superficie con residuos	%	0	>50	0,037
Señalización		adecuada	Ausente	0,037

**Tabla 8.** Índices y clases de peligrosidad de las canteras del partido de La Plata

Código	IPC	Clase de Peligrosidad	
EG7	0,033	Muy Alta	
EG5	0,064		
SN1	0,064		
Ga3	0,070		
EG13	0,071		
EG6	0,093		
Ca2	0,146		
Ga16	0,153		
Ga4	0,155		
Ga11	0,161		
Ga6	0,171		
Ca1	0,171		
Ab8	0,176		
Ma1	0,182		
EG2	0,184		
EP10	0,214		Alta
SJ1	0,220		
Ma2	0,221		
Go2	0,237		
Ga12	0,238		
Ga2	0,244		
Ga9	0,273		
Ab5	0,276		
DC1	0,285		
Ab6	0,291		
Ro5	0,295		
Ga13	0,298		
Ga15	0,304		
EG11	0,327		
Ga19	0,336		
Ab17	0,340		
Ab22	0,340		
Ab2	0,343		
EP8	0,345		
EP12	0,348		
Pz1	0,355		
EG12	0,374		
EP3	0,381		
SJ2	0,385		
Go4	0,388		
Ab3	0,388		
Ab18	0,393		
Ga8	0,400	Media	
Go3	0,400		
Ab9	0,404		
Ab10	0,404		
Ab21	0,409		
EG3	0,422		
EP6	0,422		
Ga1	0,428		
Ca5	0,432		
EP9	0,433		
Ca7	0,445		
EG8	0,449		
Ab20	0,451		
Ga10	0,453		
EG10	0,453		
Go1	0,457		
Ga14	0,464		
Ga17	0,466		
Ab11	0,473		
Ma3	0,484		
Ga7	0,488		
Ca6	0,492		
Ab19	0,495		
Ab4	0,495		
Ab13	0,499		
Ca8	0,500		
EP1	0,503		
Ro3	0,506		
EP4	0,508		
SC1	0,522		
Ca4	0,529		
EP11	0,545		
Ro4	0,547		
EG4	0,574		
EP5	0,580		
EP13	0,587		
Rg2	0,591		
Rg1	0,605	Baja	
EG9	0,612		
Ca10	0,618		
Ga5	0,625		
Ab1	0,649		
Ab15	0,657		
Ga20	0,718		
Ma4	0,729		
EP7	0,834	Muy Baja	
Pz2	0,866		
Ab16	0,923		
EG1	0,973		



**Figura 4.** Mapa de clases de peligrosidad de canteras en el Partido de La Plata.

Para validar el índice descrito se acudió a contrastar los valores del IPC con datos independientes relativos a accidentes realmente ocurridos en las cavas, a través de una consulta sistemática de la prensa, en la hemeroteca de la ciudad. Los resultados se presentan en la Tabla 9. Como se puede apreciar, los episodios registrados (que como es lógico, son una parte de los realmente ocurridos) claramente tienden a producirse en las cavas con mayor índice de peligrosidad. Entre 1981 y 2011, se han registrado 21 episodios de accidentes mortales en cavas, con

un total de 22 muertos. De los 21 episodios, 11 se produjeron en canteras con IPC de clase muy alta y 9 en canteras de clase alta. Solamente un episodio (de 1981, curiosamente el único con dos muertos) corresponde a una cava de clase muy baja. Esta aparente contradicción llevó a indagar sobre las posibles causas de la discrepancia citada. La cava, en efecto, tiene en la actualidad un índice de peligrosidad muy bajo, pero eso es resultado de haber sido rellenada en la segunda mitad de la década de los 90. En fechas anteriores tenía una gran profundidad y estaba ocupada por agua. En 1981, cuando se produjeron las muertes registradas, la peligrosidad de la cava era por tanto muy alta.

Además de los episodios citados, se tienen datos sobre otros 16, con un total de 19 muertos, ocurridos en 10 cavas de la región no incluidas en la tabla anterior. Para esas cavas no se dispone de datos sobre todos los parámetros incluidos en el cálculo del IPC, y solamente se ha podido calcular un IPC aproximado, basado en un número limitado de parámetros, relativos a información recopilada en un trabajo realizado con otros fines. La Tabla 10 presenta los resultados obtenidos sobre los incidentes registrados, así como la clase de peligrosidad (valor aproximado) de las cavas correspondientes. Nuevamente, todos los incidentes corresponden a canteras con clases de peligrosidad muy alta o alta. Debido a la menor fiabilidad del índice en estas canteras, esta comprobación aunque ilustrativa, tiene un valor más limitado que la anterior.

**Tabla 9.** Muertes registradas en cavas del partido de La Plata.

Se indican el número de muertos y la edad de los mismos.

Se señala que la clase de peligrosidad de EG1\* corresponde a la situación actual. Con las condiciones de 1981 la peligrosidad habría sido alta o muy alta

Código cava	fecha	Nº (edad)	Clase peligrosidad
EG1	14/12/81	2 (22,42)	Muy baja *
EG2	? /?/81	1 (17)	Muy alta
Pz1	11/10/83	1 (11)	Alta
Ma2	4/12/85	1 (16)	Alta
Ma2	1/2/86	1 (18)	Alta
Gal6	17/8/92	1 (16)	Muy alta
EG7	4/12/92	1 (16)	Muy alta
Ma2	6/12/92	1 (42)	Alta
Ma2	23/12/94	1 (14)	Alta

Código cava	fecha	Nº (edad)	Clase peligrosidad
Ma2	6/11/95	1 (24)	Alta
EG2	27/2/00	1 (10)	Muy alta
EG5	24/2/02	1 (9)	Muy alta
EG7	5/1/03	1 (20)	Muy alta
EG7	19/3/04	1 (14)	Muy alta
EG5	?/8/05	1 (?)	Muy alta
EG13	7/12/05	1 (9)	Muy alta
EP10	5/2/06	1 (13)	Alta
EG12	22/4/06	1 (72)	Alta
Ga3	12/12/06	1 (25)	Muy alta
Ca1	5/2/11	1 (23)	Muy alta

**Tabla 10.** Muertes registradas en cavas de otros partidos

Localidad/Partido	Fecha	Nº (edad)	Clase peligrosidad
La Salada/Ensenada	4/3/70	1 (18)	Alta
Aero Club/Ensenada	?/12/75	1 (14)	Muy alta
???/Berisso	19/1/85	1 (48)	????
Aero Club/Ensenada	11/12/85	1 (?)	Muy alta
Los Talas/Berisso	6/1/87	1 (17)	Muy alta
Aero Club/Ensenada	7/12/87	1 (25)	Muy alta
Aero Club/Ensenada	24/12/94	1 (13)	Muy alta
La Salada/Ensenada	27/1/97	1 (17)	Alta
Aero Club/Ensenada	2/12/97	1 (13)	Muy alta
Aero Club/Ensenada	27/2/98	1 (13)	Muy alta
Los Talas/Berisso	2/7/00	1 (70)	Muy alta
Ruta 15/Berisso	7/3/01	1 (20)	Media
520, E 122-123/Ensenada	15/2/02	1 (15)	Alta
Bartolomé M./Magdalena	1/12/05	1 (26)	Alta
Ruta 24/Magdalena	11/1/07	1 (21)	Alta
Ruta 2/Florencio Varela	31/8/09	4 (10, 12, 17, 32)	Alta

A la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que el índice propuesto es una medida aceptable del grado de peligrosidad que estas excavaciones representan, y que el mapa obtenido expresa un diagnóstico contrastado a partir de datos independientes.

La información fragmentaria y cualitativa obtenida durante el trabajo de campo sugiere que los problemas de salud son también mayores en las áreas próximas a las cavas con mayor índice de peligrosidad, especialmente aquellas en las que existen masas de agua permanentes y acumulación de residuos contaminantes. No obstante, esto debería confirmarse a través de la recopilación sistemática de datos, lo que serviría como validación adicional del IPC.

Lo que los resultados mostrados indican es que el IPC representa una herramienta útil, no solo para diagnosticar el grado de peligrosidad de estas explotaciones profundas de suelo y material subyacente en otras zonas de la Provincia de Buenos Aires, sino también para identificar los factores que en mayor medida contribuyen a dicha peligrosidad, lo cual ayudaría a implementar medidas correctoras.

### *Extrapolaciones e implicaciones*

El análisis que se ha presentado corresponde, según se ha indicado, a un "caso de estudio" concreto, limitado al entorno de La Plata. A partir de este caso se pueden intentar ciertas extrapolaciones que ayuden a estimar lo que estos procesos de degradación pueden significar en la Provincia de Buenos Aires o a escalas más amplias. Esas extrapolaciones tienen carácter preliminar y orientativo y deben considerarse con mucha cautela, a expensas de obtener nuevos datos que ayuden a respaldarlas o a modificarlas.

Los datos anteriores muestran que en los últimos tiempos la "huella geomorfológica humana" en el entorno de La Plata ha sido de aproximadamente  $11,3 \text{ m}^2/\text{persona/año}$  y  $6,5 \text{ m}^3/\text{persona/año}$ , para el conjunto de las actividades de expansión urbana y de infraestructuras, así como minería de suelo (la cual representa más del 50% del total). Evidentemente, en el total de la superficie afectada se produce la destrucción del suelo (o muy grave degradación en el caso de las decapitaciones). Del volumen movilizado, la mayor parte corresponde también a suelos. Suponiendo que los valores indicados sean representativos (lo cual puede no ser del todo exacto) para los aproximadamente 18 millones de personas existentes en la provincia y la capital federal, se obtiene que en los últimos años se estaría degradando anualmente por estos procesos una superficie de aproximadamente  $200 \text{ km}^2$ , y se estarían movilizando de manera directa unos  $120 \times 10^6 \text{ m}^3$  de materiales, fundamentalmente suelos. Una proporción muy elevada de los suelos afectados corresponde a las clases de mayor capacidad de uso y por

tanto, a las de mayor productividad. La pérdida de productividad correspondiente (aceptando las cifras antes presentadas con una actualización conservadora a los valores actuales) arrojaría un total de más de 100 millones de pesos/año, lo que a primera vista no parece demasiado para el conjunto de la provincia, si bien hay que tener presente que ese sería un valor acumulativo, que cada año se añadiría a las pérdidas de productividad de los años anteriores.

Este tipo de procesos que afectan a los procesos geomorfológicos en general y los suelos en particular tienen otras implicaciones, de alcance global. Los datos presentados aquí, así como los aportados para otras zonas de Argentina y del mundo (Rivas et al., 2006), indican que la “tasa global de denudación tecnológica” puede ser del orden de 1 mm/año para el conjunto del planeta; esto es 1-2 órdenes de magnitud superior a la denudación debida a procesos naturales. Si los valores anteriores son correctos, estaríamos ante un “cambio geomorfológico global” muy significativo, lo que representaría una diferencia cualitativa y cuantitativa muy importante con respecto a etapas anteriores de la historia de la Tierra. Parece que los seres humanos somos actualmente, con diferencia, el principal agente de denudación, y de la consiguiente pérdida de suelos de calidad.

### *Análisis de posibles alternativas*

A la vista de los resultados anteriores, parece evidente que la minería de suelos como materia prima para la industria ladrillera es un importante factor de degradación del suelo en la Provincia de Buenos Aires. Sería por ello deseable identificar materiales que puedan representar alternativas que permitan la sustitución de la minería de suelos por otro tipo de explotación más sustentable. Esto se ha abordado a través del análisis de dos tipos de recursos: sedimentos lacustres actuales y estériles de explotación de canteras.

La provincia de Buenos Aires, posee una importante extensión de cuerpos fluviales y lacustres, con sedimentos que podrían resultar potencialmente útiles para su empleo como materia prima en la producción de cerámica roja, que en muchos casos poseen limitaciones debidas a sus características físicas, químicas y mineralógicas. Sin embargo, estudios realizados sobre sedimentos de fondo extraídos en distintas lagunas y bañados de la región pampeana húmeda de la provincia de Buenos Aires, sugirieron su aptitud tecnológica para ser utilizados en sustitución parcial o total de los horizontes superior y subsuperficial del perfil del suelo para la fabricación de cerámica roja estructural. Estimaciones realizadas por Hurtado et al (2015), sugirieron además que la cantidad de materiales con características adecuadas, sería suficiente para abastecer buena parte de la demanda provincial. Por su parte, el estudio de fangos arcillosos de lavado (fracción granulométrica menor a  $2\mu$ ), generados en una explotación de rocas cuarcíticas

ubicada en el partido de Gral. Pueyrredón, sugirió la aptitud de estos materiales para la producción de ladrillos y revestimientos cerámicos (Forte et al, 2014).

Por otra parte, el equipo de trabajo ha llevado a cabo tareas de recuperación de suelos en terrenos decapitados del partido de Florencio Varela. Las mismas, consistieron en la utilización de enmiendas orgánicas sobre la base de materiales triturados provenientes del barrido y recolección de hojarasca, residuos de poda del arbolado urbano y rumen de bovinos provenientes de frigorífico ubicados en el área de influencia. La superficie del suelo fue sometida a trabajos mínimos de roturado mediante rotobacter, que permitieron la incorporación y mezclado de los compuestos orgánicos con la fracción mineral fuertemente arcillosa. Si bien el ensayo no pudo continuarse en el tiempo, se alcanzaron a visualizar mejoras en la estructura del suelo y un mayor desarrollo de la vegetación, que sugirieron aplicar estas prácticas en la recuperación de suelos degradados.

## Conclusiones y recomendaciones

### *Conclusiones*

El análisis realizado en el área de La Plata ha puesto de manifiesto que las actividades humanas representan en la actualidad el principal agente geomorfológico y de degradación irreversible de suelos en la zona. La huella geomorfológica humana (HGH, expresada como  $m^2$  y  $m^3$  por persona y año) ha crecido de manera considerable con el tiempo ( $> 50\%$  entre 1990 y 2012), en coincidencia con lo señalado en análisis recientes sobre el cambio geomorfológico global (CGG).

La denudación directa debida a estas actividades equivale, para el conjunto de la zona de estudio, a 3-4 mm/año. La denudación indirecta por erosión en las zonas perturbadas por acción humana, extendida al conjunto de la zona de estudio, contribuye con 0,03-0,02 mm/año. Eso es muy poco en comparación con lo anterior, pero al menos un orden de magnitud mayor que la denudación de los suelos en condiciones naturales o seminaturales (pasturas).

Los procedimientos aplicados para la evaluación de las consecuencias ambientales de las modificaciones estudiadas muestran que la decapitación de suelos producida por las mismas implica una reducción de la productividad biológica superior al 85%. El procedimiento desarrollado para expresar esa reducción como pérdida de capital natural ha permitido estimar, en primera aproximación, que dicha pérdida sería equivalente a cerca de \$ 4000 (pesos argentinos 2008) /ha/año.

En lo referente a los riesgos para la seguridad y salud de las personas, como consecuencia de los cambios geomorfológicos descritos, se ha puesto de manifiesto que el Índice de Peligrosidad de Cavas (IPC) constituye una herramienta

adecuada para evaluar el riesgo que estas “geoformas” producidas por la actividad humana implican. Se ha comprobado la validez de dicho índice para establecer una jerarquía de peligrosidad para las cavas analizadas, las cuales han dado lugar al menos a 41 muertes desde 1981 hasta 2011. Además, el IPC permite identificar los factores que contribuyen al grado de peligrosidad determinado en cada caso.

Los resultados obtenidos en la zona de estudio son coincidentes con los obtenidos por nosotros y otros autores en distintas zonas del mundo, e indican que el cambio geomorfológico global es una de las características que marcan el inicio del Antropoceno. Al igual que muchos otros tipos de cambios que afectan a los rasgos y procesos naturales, el CGG es especialmente patente a partir de mediados del siglo XX, por lo que se considera más apropiado que el inicio de la citada época geológica se sitúe a final de la Segunda Guerra Mundial, y no al inicio de la Revolución Industrial.

### *Recomendaciones*

Sobre la base de los resultados obtenidos se pueden hacer algunas recomendaciones encaminadas a mitigar los efectos negativos del cambio geomorfológico y sus consecuencias.

Aceptando que va seguir siendo necesario utilizar territorio para la expansión urbana y de infraestructuras, se debería evitar la afectación de suelos con alta capacidad de uso (clases I, II, III). En los casos en los que dicha afectación sea realmente inevitable, se deberían arbitrar medidas de compensación ambiental, que impliquen la rehabilitación o recuperación de una extensión superior a la afectada por la actividad.

Los ensayos preliminares realizados sugieren que es posible recuperar parte de la productividad de los suelos en zonas decapitadas, a través de la incorporación de materia orgánica de procedencia local, que naturalmente, implica un costo económico.

En los análisis de viabilidad económica de las actividades que afecten a los suelos, especialmente los de alta calidad, se deben incluir específicamente como costes las externalidades ambientales que la disminución de la productividad biológica, y su expresión como pérdida de capital natural, implica.

En todos los casos en los que las actividades humanas tengan consecuencias sobre la perturbación de la superficie y el aumento del riesgo de erosión, se deberían poner en práctica medidas de mitigación (cubiertas protectoras, barreras, balsas de decantación, etc.) que reduzcan los efectos sobre los procesos de erosión/sedimentación.

Se debería desalentar y hasta prohibir la minería de suelos para su utilización como materia prima para la fabricación de ladrillos, al menos la que afecte a suelos de las clases I, II, III y IV. Sería deseable además, buscar alternativas al uso de este recurso.

Es conveniente realizar un inventario completo de las cavas existentes en la Provincia de Buenos Aires (y en el país en general), así como un diagnóstico de su peligrosidad, para lo cual se puede aplicar el IPC.

A partir de ello, eliminar cuanto antes las cavas que presenten valores altos del IPC, con el fin de evitar que se sigan produciendo daños a personas. Si no fuera posible su eliminación, al menos se debería actuar sobre los parámetros que en mayor medida determinan esa peligrosidad, lo que daría lugar a una reducción importante del riesgo, tal como se ha puesto de manifiesto por algunas acciones acometidas en el pasado.

## Bibliografía

- ALVAREZ, R. and STEINBACH, H.S. 2009. "A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas". *Soil Till. Res.* 104:1-15.
- ANDREAU, R., PABLO GELATI, MAURO PROVAZA, DIEGO FERNÁNDEZ, DANIEL BERNARDI & MABEL VÁZQUEZ. 2012. "Physical and chemical degradation of two horticultural soils of La Plata. remediation alternatives". *Ciencia del Suelo*, 30-2:107-117.
- ARCHER, A.A., LUTTIG, G.W., SNEZZHKO, I.I. (Eds.), 1987. *Man's Dependence on the Earth; the Role of Geosciences in the Environment*. UNESCO-UNEP, Paris.
- BACCHUS, R. 2008. *Field Assessments Of Landscape-Scale Mining Impacts Based On Spectroscopic Analyses*. Proc. First International Conference on Mining Impacts to the Human and Natural Environments. March 15, Punta Gorda, FL.
- BAI, Z.G., DENT, D.L., OLSSON, L. and SCHAEPMAN, M.A. 2008. "Proxy global assessment of land degradation". *Soil Use Manag.* 24:223-234.
- BECKER, A.R., CANTÚ, M.P., SCHIAVO, H.F., OSSANA, J.I., 2001. *Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del Suroeste de Córdoba, Argentina*. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. CD. Trabajo VII-41, 4 p.
- BECKER, A.R., CANTÚ, M.P., OSSANA, J.I., GRUMELLI, M., 2002. *El escurrimiento y las pérdidas de suelos por erosión hídrica laminar bajo diferentes sistemas de labranza, en la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba*. XIX Congreso Nacional del Agua. CD., 10 p.

- BERNARDOS, J N., VIGLIZZO, E.F., JOUVET, V., LÉRTORA, F.A., PORDOMINGO, A.J., CID F.D. 2001. "The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine Pampas". *Agric. Sys.* 69:215-234.
- BONACHEA, J., BRUSCHI, V.M., REMONDO, J., GONZÁLEZ-DÍEZ, A., SALAS, L., BERTENS, J., CENDRERO, A., OTERO, C., GIUSTI, C., FABBRI, A., GONZÁLEZ-LASTRA, J.R., ARAMBURU, J.M. 2005. "An approach for the incorporation of geomorphologic factors into EIA of transportation infrastructures; a case study in northern Spain". *Geomorphology*, 66 (1-4): 95-117.
- BRUSCHI, V.M., A. CENDRERO & J.A. CUESTA-ALBERTOS. 2011. "A Statistical Approach to the Validation and Optimisation of Geoheritage Assessment Procedures". *Geoheritage*, 3:131-149.
- BUJAN, A., MASSOBRIO, M., CASTIGLIONI, M., YÁNEZ, M., CIALLELLA, H., FERNÁNDEZ, J., SANTANATOGLIA, O.J., CHAGAS, C., 2003. "Soil erosion evaluation in a small basin through the use of <sup>137</sup>Cs technique". *Soil-Till. Res.* 69, 127-137.
- CANTÚ, M.P., DEGIOVANNI, S.B., VILLEGAS, M.B., ERIC, C.F., SCHIAVO, H.F., BECKER, A.R., 1996. *Impacto de la actividad humana sobre los procesos geomorfológicos en la ciudad de Rio Cuarto, República Argentina*. Primer Taller Latinoamericano del Proyecto ESPROMUD-Programa SCOPE del ICSU y IUGS. Bogotá, 12 p.
- CENDRERO, A., 2003. *De la comprensión de la historia de la tierra al análisis de las interacciones entre seres humanos y medio natural*. Real Academia de Ciencias, Madrid.
- CENDRERO, A., FRANCÉS, E., DEL CORRAL, D., FERMÁN, J.L., FISCHER, D., DEL RIO, L., M. CAMINO, M. and LÓPEZ, A. 2003. "Indicators and indices of environmental quality for sustainability assessment in coastal areas; application to case studies in Europe and the Americas". *Journal of Coastal Research*, 19 (3): 919-933.
- CHARTIER, MP & ROSTAGNO, CM. 2010. "Evaluación del modelo WEPP para predecir la erosión hídrica en pastizales semiáridos del noreste de la Patagonia". *Ciencia del suelo*, 28-1:91-103.
- COSTA, J.E., 1975. "Effects of agriculture on erosion and sedimentation in the Piedmont Province, Maryland". *Geol. Soc. Am. Bull.* 86, 1281-1286.
- DE MULDER, E.F.J., MCCALL, G.J.H., 2001. "Geosciences for urban planning and management". In: Koukis, Marinos, Stoumaras, Tsiambaos (Eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Swets and Zeitlinger, Lisse, pp. 3417-3438.
- DÍAZ DE TERÁN, J.R., FRANCÉS, E., DUQUE, A., CENDRERO, A., 1992. "Indicators for the assessment of environmental impacts from small industrial installations; application to an asphalt agglomerate plant in northern Spain". In: Hermellin,

- M. (Ed.), *Environmental Geology and Applied Geomorphology in Colombia*. AGID-Univ. EAFIT, Medellín, pp. 121-134.
- DOUGLAS, I., 1990. "Sediment transfer and siltation". In: Turner, B.L., Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Mathews, J.T., Meyer, W.B. (Eds.), *The Earth as Transformed by Human Action*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., pp. 215-234.
- EDESIO, J.M., GONZÁLEZ, M.J., MARAURI, P., MERINO, A., LARRIO'N, J.A., ZULUETA, I., 1991. *Repercusiones de los cambios de uso del suelo en la pérdida de recursos ambientales y la dinámica del ecosistema*. Escuela Ing. Tec. Indust. y Topograf. Universidad del País Vasco, Vitoria.
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY), 1998. *Europe's Environment; The Second Assessment*. Elsevier, Amsterdam.
- FORTE LM, HURTADO MA, GIMÉNEZ JE, BALLESTEROS RM, CENDRERO A. 2003. *Metodología para el cálculo de remociones de suelo y subsuelo por actividades urbanas. Análisis del casco urbano de la ciudad de La Plata*. Actas del II Seminario Internacional "La Interdisciplina en el Ordenamiento Territorial. Planificación Estratégica y Medioambiental". CIFOT, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. 10 pp. ISSN: 1667-3158. Versión CD.
- FORTE LM, ETCHEVERRY RO, GARRIDO L, DEL RÍO JL, HURTADO MA, COUYOUPETROU L, ROLNY DG 2014. "Evaluación de las propiedades cerámicas de subproductos sólidos de explotaciones de rocas de aplicación". En: *Los áridos son muchos más que piedras*, Fontana Piatti J. et al (Eds.), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Cámara de la Piedra de la Provincia de Buenos Aires. ISBN 978-987-24740-4-1; T II: 535-546.
- GELLIS, A.C., ELLEVEIN, A., ABY, S., PAVICH, M.J., BIERMAN, P.R., CLAPP, EM., 2004. "Modern sediment yield compared to geologic rates of sediment production in a semi-arid basin, New Mexico: assessing the human impact". *Earth Surface Processes and Landforms* 28 (11), 1359-1372.
- GIMÉNEZ, J.E., SALERNO, M.I., HURTADO, M.A., 2002. "Rehabilitation of desurfaced soils by afforestation in La Plata county, Argentina". *Land Degradation and Development* 13, 69-77.
- GOTTFRIEDT G, DE SIERVI M, CHAGAS CI, IORIO AF DE. 2004. "Erosión laminar en suelos de pampa ondulada con contenidos contrastantes de sodio intercambiable". *Ciencia del Suelo* 22 (2) 2004:120-125.
- GOUDIE, A., 1984. *The Nature of Environment: An Advanced Physical Geography*. Blackwell, Oxford.
- . 1993. "Human influence in geomorphology". *Geomorphology* 7, 37-59.

- . 1995. *The changing earth. Rates of Geomorphological Processes*. Blackwell, Oxford.
- HANCOCK, G.R., and G.R. WILLGOOSE. 2004. "An experimental and computer simulation study of erosion on a mine tailings dam wall". *Earth Surface Processes and Landforms* 29:457-475.
- HOOKE, R.L., 1994. *On the efficacy of humans as geomorphic agents*. *GSA Today* 4 (9), 224-225.
- . 1999. "Spatial distribution of human geomorphic activity in the United States: comparison with rivers". *Earth Surface Processes and Landforms* 24, 687-692.
- HURTADO, M.A., GIMENEZ, J.E., CABRAL M. 2006. *Análisis Ambiental del Partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento Territorial. Consejo Federal de Inversiones*. ISBN 10 987-510-062-5. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.
- HURTADO MA, ROSALES W y FORTE LM. 2008. "Pérdida de suelos como pérdida de capital natural". IV Congreso Iberoamericano de Medio Ambiente y Calidad de Vida. En: *El reto del desarrollo sostenible. Estrategias y Acciones. Diálogos y Propuestas*. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca, Catamarca, Argentina, 2008.130. ISBN: 978-950-746-188-0.
- HURTADO, MA. 2015. *Desarrollo de herramientas para el análisis, evaluación y gestión sostenible del territorio y de sus recursos. Aplicación en el conurbano bonaerense, provincia de Buenos Aires, Argentina*. Universidad de Cantabria, España. PhD Thesis.
- IPCC, 1995. *Climate Change 1995; IPCC Second Assessment International Panel on Climate Change*. WMO-UNEP, Geneva-Nairobi.
- . 2007. *Climate change 2007: synthesis report*. Cambridge University Press, Cambridge.
- JAMES, L.A., 1989. "Sustained storage and transport of hydraulic gold mining sediment in the Bear River, California". *Annals of the Association of American Geographers* 79 (4), 570-592.
- KRAEMER, F; CHAGAS, C.; MARRÉ, G.; PALACÍN, E., SANTANATOGLIA, O. 2013. "Cattle production displacement by annual cropping in a basin belonging to the rolling pampa region. Effects on runoff and soil erosion". *Ciencia del suelo*, 31-1:83-92.
- LU, X.X., 2005. "Spatial variability and temporal change of water discharge and sediment flux in the Lower Jinsha tributary: impact of environment changes". *River Research and Applications* 21 (2-3), 229-243.

- LUTTIG, G.W., 1987. "Approach to the problems of mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrialised and developing countries". In: Arndt, P., Luttig, G.W. (Eds.), *Mineral Resources Extraction, Environmental Protection and Land-use Planning in the Industrialised and Developing Countries*. E. Schweizerbart, Stuttgart, pp. 7-13.
- . 1992. "The environmental impact caused by the use of geopotential". In: Kozlovsky, E.A. (Ed.), *Geology and the Environment*, vol. III. UNESCO-UNEP, Paris, pp. 31-51.
- MARELLI, H.J., WEIR, A., LATTANZI, A., DÍAZ, R., 1985. *Técnicas de conservación de suelos*. Serie Suelos y Agroclimatología n8 3. INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- MARSH, G.P. 1874. *The Earth as modified by human action (a new edition of Man and Nature, 1856)*. New York: Scribner, Armstrong & Co.
- MAS-COLELL, A, WHINSTON, M y GREEN, J, 1995. *Microeconomic Theory*. Oxford University Press.
- MEADE, R.H., 1982. "Sources, sinks and storage of river sediment in the Atlantic drainage of the United States". *The Journal of Geology* 90, 235-252.
- MOL, J.H.; OUBOTER, P.E. 2004. *Downstream effects of erosion from small-scale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical rainforest stream*. *Conserv. Biol.*, 18, 201-214.
- MOSCATELLI, G. and PAZOS, M.S. 2000. "Soils of Argentina: Nature and Use". En: I. Kheoruenromne and S. Theerawong (Eds.) 2000. *Proceedings of International Symposium on Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21st Century*, 81-92. ISBN 974-87749-4-5.
- NANI, LA., BENY, M.D., MORESCO, R.F., 1980. *Pérdidas de suelo y agua en un suelo molisol. Efecto cultivo y rotación*. Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina, pp. 2:817-2:822.
- NAREDO, J.M., 2003. "Las raíces económico-financieras de la crisis ambiental". In: Beneyto, J.V. (Ed.), *Hacia una sociedad civil global*. Taurus, Madrid, pp. 34-52.
- NAREDO, J.L., VALERO, A. (Eds.), 1999. *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Fundación Argentaria: Economía y Naturaleza, Madrid.
- NEPSTAD, D.; McGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A.C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M.; VERA DIAZ, M.C. 2009. "Frontier governance in Amazonia". *Science*, 295, 629-631.
- NICOLAU, J.M., and E. ASENSIO. 2000. "Rainfall erosion on opencast coal-mine lands: ecological perspective". Pages 51-73 in M.J. Haigh, editor. *Land reconstruction and management. Vol 1, Reclaimed Land: Erosion Control, Soils and Ecology*. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

- PHILLIPS, J.D., 1999. *Earth Surface Systems*. Blackwell, Oxford.
- RAWAT, J.S., RAWAT, G., RAI, S.P., 2000. "Impact of human activities on geomorphic processes in the Almora region, Central Himalaya, India". In: Slaymaker, O. (Ed.), *Geomorphology, Human Activity and Global Environmental Change*. Wiley, Chichester, pp. 285-299.
- RIVAS, V., CENDRERO, A., HURTADO, M., CABRAL, M., GIMÉNEZ, J., FORTE, L., DEL RÍO, L., CANTÚ, M., BECKER, A. 2006. "Geomorphic consequences of urban development and mining activities; an analysis of study areas in Spain and Argentina". *Geomorphology*, 73:185-206.
- SAMUELSON, P A 2003. *Economía Política*. Mcgraw-Hill, España.
- SASAL, MC.J. LÉONARD, A. ANDRIULO, and M.G. WILSON. 2012. "Agriculturization in the Argentinean Northern Humid Pampas: the Impact on Soil Structure and Runoff". *Geophysical Research Abstracts* Vol. 14, EGU 2012:1327-29.
- SLAYMAKER, O. (Ed.), 2000. *Geomorphology, Human Activity and Global Environmental a Change*. Wiley, Chichester.
- SLAYMAKER O, SPENCER T, EMBLETON-HAMANN C, Editors. 2009. *Geomorphology and global environmental change*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- SOWA, A., IBE, K.M., IWUAGWU, C.J., 1990. "The activation of erosión by sand dredging and other anthropogene environmental impacts in the Owerri urban area, SE Nigeria". In: Lu" ttig, G.W. (Ed.), *Geosciences Assisiting Land-use Planning in Setting Opposing Interests Between Aggregate Extraction and Environmental Protection*. Universitat Erlangen, Numberg, pp. 23-24.
- THOMAS, W.L. (Ed.), 1956. *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago.
- TOY, T.J., FOSTER, G.R. and RENARD, K.G. 1999. "RUSLE for Mining, Construction, and Reclamation Lands". *J. of Soil & Water Cons.* 54 (2): 462-467.
- TRIGO, E., E. CAP, V. MALACH, and F. VILLARREAL. 2009. *The case of zero-tillage technology in Argentina*. IFPRI Discusión Paper. Washington D.C.: International Food Policy Research Institute.
- TRIMBLE, S.W., 1997. "Contribution of stream channel erosión to sediment yield from an urbanizing watershed". *Science* 278, 1442-1444.
- TURNER, B.L., CLARK, W.C., KATES, R.W., RICHARDS, J.F., MATHEWS, J.T., MEYER, I. (Eds.), 1993. *The Earth as Transformed by Human Action*. Cambridge University Press, Cambridge.
- UNEP, 1997. *Global environment outlook*. United Nations Environment Program. Oxford Univ. Press, Oxford.
- . 2000. *Perspectivas del medio ambiente mundial 2000: GEO 2000*. Mundi-Prensa, Madrid. 398 pp.

- VARIAN, H 2007. *Microeconomía Intermedia*. A. Bosch, ed.
- DPE. 2014. *Distribución de la población de la provincia de Buenos Aires. Período 1947-2010*. Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires. |Subsecretaría de Coordinación Económica, Dirección Provincial de Estadísticas, Ministerio de Economía, provincia de Buenos Aires.
- VERA, L. y LAROCCA, F. 2004. *Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el nordeste de Entre Ríos; manejo tradicional vs. con raleos*. Informe técnico, INTA, Concordia.
- VIGLIZZO, E.F., A.J. PORDOMINGO, M.G. CASTRO, and F.A. LÉRTORA, 2003: "Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina". *Environmental Monitoring and Assessment* 87,169-195.
- VIGLIZZO, E.F., F. FRANK, J. BERNARDOS, D.E. BUSCHIAZZO, S. CABO. 2006. "A Rapid Method for Assessing the Environmental Performance of Commercial Farms in the Pampas of Argentina". *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 117, 1-3: 109-134.
- WALLING, D.E., 1996. "Erosion and sediment yield in a changing environment". In: Branson, J., Brown, A.G., Gregory, K.J. (Eds.), *Global Continental Changes: The Context of Palaeohydrology*, Geological Society, London Special Publication, vol. 115, pp. 43-56.
- WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT and DEVELOPMENT). 1986. *Our common future*. OxfordUniv. Press, Oxford.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1978. "Predicting rainfall erosion losses". *Agricultural Handbook*, vol. 537. United States Department of Agriculture.
- WOLMAN, M.G., 1967. *A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels*. *Geografiska Annaler* 49A, 385-395.
- WOLMAN, M.G., SCHICK, A.P., 1967. "Effects of construction on fluvial sediment, urban and suburban areas of Maryland". *WaterResources Research* 33, 45L-464.

Se terminó de imprimir en Impresiones Dunken  
Ayacucho 357 (C1025AAG) Buenos Aires  
Telefax: 4954-7700 / 4954-7300  
E-mail: [info@dunken.com.ar](mailto:info@dunken.com.ar)  
[www.dunken.com.ar](http://www.dunken.com.ar)  
Octubre de 2015

# prosa

Centro para la  
Promoción de la Conservación  
del Suelo y del Agua

Muy pocas veces nos ponemos a reflexionar acerca de que la vida humana sobre el planeta tierra depende de una delgada capa de suelo que en su parte más fértil tiene apenas entre 20 y 30 centímetros de espesor. La humanidad está íntimamente vinculada a la productividad del suelo, pues una vez agotada la capacidad de la tierra y transformados sus campos en desiertos, el hombre debió emigrar repetidamente en su historia.

Uno de los desafíos más significativos que afronta el género humano es la degradación de los recursos naturales y principalmente de los suelos cultivados. Mientras los escenarios mundiales plantean incertidumbres propias de su dinámica, se verifican actualmente hechos que sin duda afectarán la gobernabilidad ambiental y alimentaria mundial. La variabilidad climática, la escasez de agua por sequías recurrentes, el incremento de la erosión y degradación de los suelos, el destino creciente de tierras para usos no agropecuarios y la competencia para generación de biocombustibles, son otras de las realidades inquietantes.

Sin duda alguna, el deterioro de la salud de los suelos importa por la pérdida de un capital de importancia estratégica para la nación, pero más aún por el compromiso moral de un país naturalmente privilegiado como productor y proveedor de alimentos para sus habitantes y para el mundo. La conservación de su integridad y funciones, y por lo tanto de su productividad, constituye una excelente oportunidad para la Argentina ante el crecimiento vigoroso de las nuevas economías mundiales, que demandarán más y mejores alimentos.