

# la delgada piel del planeta

Héctor JM Morrás

Instituto de Suelos, INTA Castelar

La vida en la Tierra, tal como la conocemos, sería imposible si no existiera el suelo. Las plantas dependen del suelo para la provisión de agua y nutrientes, y de ellas depende la vida animal.

**E**l suelo es la capa superficial natural de la Tierra. Como delgada epidermis del planeta, tiene un cometido fundamental en el desenvolvimiento de la vida. Posibilita el cumplimiento de diversas funciones ecológicas cruciales, forma parte del ciclo hidrológico e interviene en la regulación de las características de la atmósfera.

Las plantas dependen del suelo para obtener el agua y los nutrientes que necesitan para vivir. Por esa razón, la vida animal también depende indirectamente del suelo. Su delgado manto poroso actúa como reservorio de agua y de carbono; filtra y regula los flujos de numerosas sustancias; constituye el hábitat de una vasta diversidad de organismos y, por ello, un reservorio de genes en su mayor parte desconocidos. Dicho brevemente: sin suelo, la Tierra no sería lo que es.

Dada su función ambiental, como base de la sostenibilidad de los ecosistemas, los suelos constituyen también un componente fundamental de la actividad económica: posibilitan la producción de alimentos, a pesar de que, por restricciones de diverso tipo, solo una pequeña proporción de ellos es cultivable. Son también un componente central del paisaje y parte del patrimonio de la sociedad.

Pero diversos procesos de degradación o erosión producen una disminución de calidad de los suelos, e incluso su pérdida completa. Como recurso difícilmente renovable, se hallan en

riesgo a causa de las actividades humanas. Sin embargo, y paradójicamente por su dependencia de los suelos, las sociedades humanas desconocen la importancia y el funcionamiento de estos. Sin duda, para poder preservarlos, debemos conocerlos mucho mejor.

La disciplina científica que se ocupa del estudio de los suelos tiene varias denominaciones, entre ellas *edafología*, *pedología* y *ciencia del suelo*. Solo recientemente, con los estudios de Vasili Dokuchaev (1846-1903), en Rusia, y la publicación en 1883 de su obra más renombrada, *Russkii chernozem* (*La tierra negra rusa*; traducción al inglés: *Russian chernozem*, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalén, 1967), comenzó a comprenderse a los suelos como un cuerpo natural, resultante de la interacción de los factores que los formaron y variable en el tiempo y el espacio.

Para la ciencia del suelo, este se define como la parte externa de la corteza terrestre que fue sometida al influjo de diversos factores (*o factores formadores del suelo*) y resultó transformada en el medio apto para el desarrollo de la vida.

Los factores formadores del suelo son el material inicial o parental –generalmente de origen mineral–, el clima, los organismos biológicos y el relieve, que interaccionan a lo largo del tiempo. Así, en la visión actual, los suelos se forman y evolucionan al compás de la dinámica ecológica.

Esta visión difiere de la tradicional, que se podría denominar *desarrollista*, según la cual los suelos evolucionan progresivamente hacia su madurez en ambientes climáticos esencialmente estables. En cambio, las concepciones ecológicas y evolutivas recientes los conciben como entidades en continuo cambio, junto con las circunstancias ambientales.

Los suelos contienen el registro de los climas del pasado, por lo que el estudio de sus formas en tiempos geológicamente recientes o remotos (suelos y paleosuelos) ayuda a comprender la evolución ambiental del planeta.

Como consecuencia de la mencionada interacción de los factores formadores, se producen numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que alteran el material parental. Ellos pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

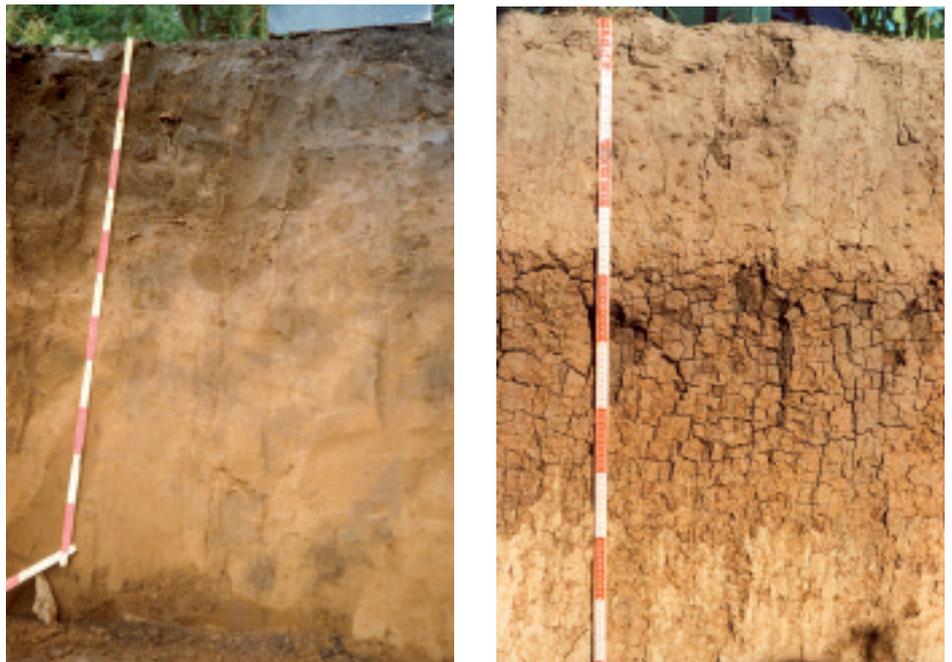
1. Adiciones (como la incorporación de materia orgánica).
2. Translocaciones (como la migración vertical de arcilla o de sales).

3. Transformaciones (como la modificación de los minerales de las rocas en otros propios de los suelos).
4. Pérdidas (como la migración de iones en solución o la erosión).

Las características e intensidades de estos diversos procesos varían en cada ambiente. Su resultado es un medio complejo, de composición orgánica y mineral, organizado y jerarquizado, con una estructura en permanente pero lenta evolución, demasiado lenta para ser fácilmente percibida por un observador. La evidencia más visible de esa organización está constituida por las capas o los estratos que forman el espesor del suelo. Un corte o sección vertical del terreno pone en evidencia esa sucesión de estratos y se denomina *perfil de suelo*.

La profundidad del suelo es variable según el tipo de suelo de que se trate: puede oscilar entre pocos centímetros y varios metros. Las capas predominantemente horizontales cuya sucesión revela el perfil se denominan *horizontes* y se diferencian por sus características morfológicas y su composición (figura 1). Tienen colores, estructura física y propiedades químicas que difieren significativamente de los de las rocas duras y los sedimentos subyacentes.

La presencia de ciertos horizontes, su morfología y demás características físicas y químicas varían según los tipos de suelo. A los efectos de la descripción de los perfiles se utiliza una nomenclatura en la que los horizontes principales se designan con las letras mayúsculas A, B, C y E, y determinadas características subordinadas se indican con letras minúsculas y números (figura 2). De tal manera, unos pocos símbolos trans-



**Figura 1.** Dos perfiles de suelos característicos del nordeste de la provincia de Buenos Aires. Izquierda: área de Junín (suelo *Hapludol*). Derecha: área metropolitana de Buenos Aires (suelo *Argiudol*). Cada cambio de color en las reglas que dan la escala significa 10 centímetros.



**Figura 2.** Horizontes superficiales de un perfil de suelo *Argiudol*, en los que se presentan diferencias de color, textura y estructura. La regla está graduada en centímetros.

miten una importante cantidad de información sobre la formación y el estado de los suelos.

Salvo una pequeña cantidad de suelos orgánicos, como las turbas, la parte sólida de la enorme mayoría de los suelos está constituida por material mineral, tanto procedente de rocas como formado en el mismo suelo por los procesos constitutivos de este. Esos procesos son diversos y varían en intensidad según la combinación específica de los factores de cada sitio. Así, en las zonas áridas, debido a la escasez de agua y de actividad biológica, los suelos experimentan poca evolución y sus minerales constitutivos son los de las rocas originales. En zonas templadas y húmedas, como la región pampeana rioplatense, tienen lugar procesos de acumulación de materia orgánica en la superficie, de translocación de constituyentes en el perfil de suelo, y de moderada formación de nuevos minerales. En suelos de zonas subtropicales cálidas y húmedas, como los de la provincia de Misiones, los minerales provenientes de las rocas tienden a desaparecer casi por completo y los suelos terminan constituidos fundamentalmente por arcillas, resultado de los procesos formadores.

La parte mineral del suelo se diferencia por el tamaño de sus granos, determinado por la proporción de arena, limo y arcilla que existe en cada horizonte. La proporción en que están presentes esos tres materiales se denomina la *textura del suelo*, que también es producto de los procesos de alteración y translocación de materia. Las diversas texturas y composiciones mineralógicas de los suelos definen las numerosas propiedades físicas y químicas de la parte mineral de estos.

Unas características de los suelos de la que derivan numerosas propiedades y funciones fundamentales para el equilibrio de los ecosistemas son su contenido de materia orgánica y su capacidad de albergar diversos procesos biológicos. La materia orgánica específica de los suelos, que se denomina *humus*, es un producto com-

plejo y diferente de la materia orgánica primaria que le dio origen (restos vegetales y animales).

El humus resulta de diversos procesos químicos y biológicos que generan nuevas y variadas moléculas orgánicas. Aunque la proporción de materia orgánica de los suelos es reducida –en promedio constituye alrededor de un 5% de su parte sólida–, es responsable de diversas propiedades relacionadas con la formación, organización y funcionamiento específico de los suelos. Asimismo, los restos de plantas y animales son reciclados en el suelo, pues proveen nutrientes para sustentar nueva vida.

Todos estos procesos pueden tener lugar gracias a la enorme diversidad de organismos que habitan los suelos, sobre todo un amplio conjunto microorganismos –en gran medida aún desconocido–, responsable de la mayor parte de las transformaciones bioquímicas que allí ocurren. Además de esa actividad microbiológica, particularmente intensa en la zona por la que se extienden las raíces de pastos y otras plantas, los suelos están poblados por artrópodos, lombrices, crustáceos, etcétera, que aseguran la mezcla y el transporte vertical de materia orgánica y microorganismos.

También pueblan el suelo diversos mamíferos excavadores, en especial roedores, que a veces no son tenidos en cuenta pero desempeñan un papel no despreciable en la formación y actividad de los suelos. La conservación de toda esa biodiversidad es esencial para el equilibrio y funcionamiento de los ecosistemas asentados sobre cada suelo.

La porosidad de los suelos es otro rasgo crucial, pues posibilita tanto la retención como la circulación del agua que requieren los organismos vivos integrantes de cada ecosistema. La porosidad puede definirse como la proporción de espacios libres con relación al material sólido –valor que, en términos generales, suele oscilar en torno al 50%–, y por el tamaño, forma y distribución espacial de los poros. La proporción y geometría de los poros se relacionan con diversas características de cada suelo, tales como la composición de sus partes mineral y orgánica, la actividad biológica y determinadas propiedades físicas y fisicoquímicas.

Entre las propiedades fisicoquímicas de los suelos, es importante destacar su capacidad de intercambiar *iones*, es decir, átomos o moléculas con carga eléctrica (sea negativa –en cuyo caso se llaman *aniones*– o positiva –en cuyo caso se llaman *cationes*–). Numerosas partículas del suelo, como las de arcilla o de humus, que son sustancias coloidales, tienen en su mayor parte carga eléctrica de signo negativo. Como consecuencia, los cationes disueltos en el agua del suelo (como calcio, magnesio o potasio) pueden ser adsorbidos (es decir, resultar adheridos) en la superficie de esos componentes del suelo. Las fuerzas de adsorción son relativamente débiles, lo que permite un intercambio o reemplazo continuo entre los

iones libres en la solución del suelo y los que se encuentran adsorbidos a la fracción coloidal de suelo.

Debe tenerse presente que las plantas se nutren principalmente de los iones libres existentes en el suelo. En consecuencia, esa propiedad de retención de iones que tienen los coloides del suelo es de fundamental importancia: por un lado, evita que una buena parte de los iones libres en el agua del suelo se pierdan en las capas profundas como consecuencia de la circulación del agua que, por la gravedad, tiende a sumergirse por los poros. Por otro lado, la retención de iones en la superficie de los coloides conforma un reservorio de iones fácilmente accesibles para las plantas. Es así que gran parte de la fertilidad de los suelos radica en estas propiedades de retención e intercambio iónico, y explica gran parte de las diferencias de aptitud agrícola que existen entre diferentes suelos.

Otra característica importante de los suelos, relacionada con la propiedad anterior, es su acidez o alcalinidad, expresada por su pH. Este valor indica la concentración de iones de hidrógeno en la solución del suelo y se mide en una escala numérica que va de 0 a 14: en términos generales, los suelos ácidos oscilan entre pH 3 y 6; los alcalinos entre pH 8 y 12. El pH 7 corresponde a suelos neutros. El pH natural del suelo, o el que resulta de su uso, influye en numerosos procesos que se producen en su seno, como la alteración de los minerales que lo constituyen, la actividad biológica que tiene lugar en su interior, la formación de humus y la nutrición de las plantas. La acidificación del suelo se produce a veces naturalmente, pero puede ser acelerada por actividades humanas como la utilización de ciertos fertilizantes, la contaminación de origen industrial o vehicular y la lluvia ácida.

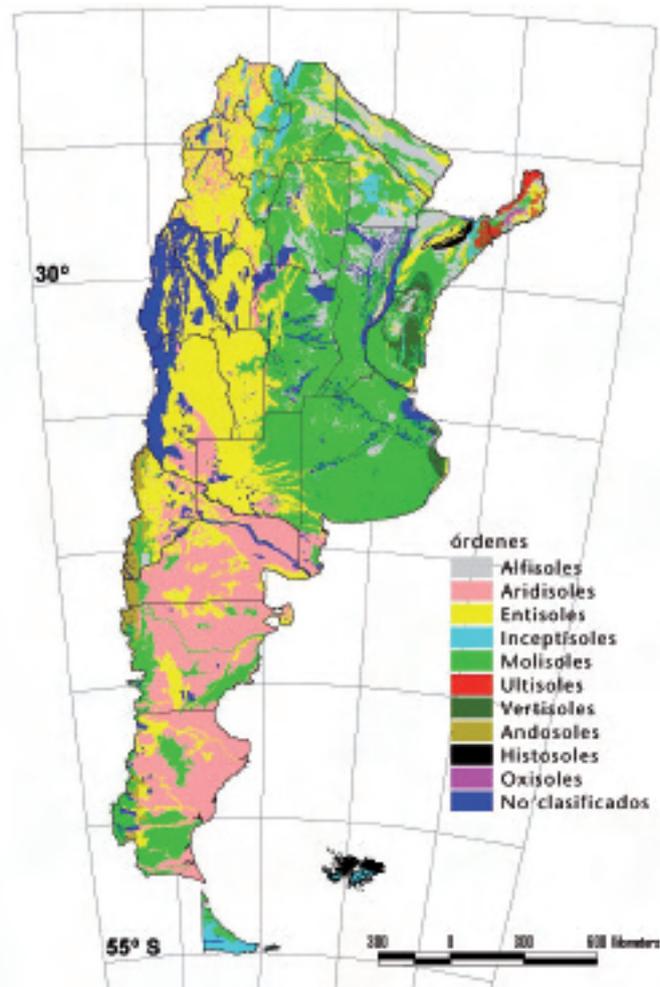
Relacionados también con la capacidad de intercambio iónico se hallan los procesos de floculación y dispersión, que afectan a las partículas coloidales del suelo; estos procesos –que consisten básicamente en el acercamiento o la repulsión de los coloides como consecuencia de sus cargas eléctricas y las de los iones– tienen una función destacada en la formación de la estructura y la porosidad del suelo, cuyas características e importancia se mencionaran antes.

Los suelos han sido históricamente clasificados de diversa manera. Actualmente, una de las clasificaciones más difundidas es la del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, adoptada también como sistema de referencia en la Argentina. Está publicada con el título de *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, y puede ser consultada en <http://soils.usda.gov/technical/classification/taxonomy/>. En el ámbito de las Naciones Unidas existe otro sistema clasificatorio de los suelos, desarrollado en los últimos años y denominado *World Reference Base for Soil Resources*, que comienza a ser aplicado en diversos países. Puede consul-

tarse en <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/>. Hay asimismo clasificaciones realizadas en función de la aptitud agrícola de los suelos o para otros usos específicos.

La cartografía de suelos estudia la distribución geográfica de los diversos tipos, y la representa en mapas dibujados en diversas escalas (figura 3). El inventario de los suelos de una región o país sirve para numerosos propósitos económicos y sociales, como la asignación de usos al territorio, la evaluación de aptitud agrícola, el análisis de los riesgos de degradación, la localización de obras de ingeniería, etcétera.

Los trabajos cartográficos sobre suelos se iniciaron en la Argentina a principios del siglo XX, cuando culminaba



**Figura 3.** Mapa de los órdenes de suelos dominantes en las distintas regiones del país. Los órdenes constituyen el nivel taxonómico más elevado en el sistema de clasificación de la *Soil Taxonomy*. En esta clasificación los suelos se dividen en doce órdenes. Los niveles taxonómicos son seis: a orden siguen *gran grupo* y el *subgrupo*. Como ejemplo se puede mencionar que el orden dominante en la región pampeana es el *Molisol* caracterizado por suelos húmidos y fértiles. La denominación de los suelos en este sistema se construye yuxtaponiendo en los sucesivos niveles taxonómicos sílabas o palabras con contenido conceptual. Así por ejemplo, un suelo *Argiudol* (como aquellos representados en las figuras 1 derecha y 2) es un *Molisol* caracterizado por un régimen hídrico húmedo o *údic* (y por lo tanto clasificado en el nivel de gran grupo como *Udol*) y por un horizonte B con acumulación iluvial de arcillas denominado *Argílico* (porque se lo clasifica en el nivel de subgrupo como *Argiudol*).

el proceso inmigratorio y la consecuente colonización de nuevas áreas. Sin embargo, solo en la década de 1960, poco después de la creación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), este organismo inició un relevamiento sistemático y detallado de los suelos del país. Como resultado, hoy la Argentina dispone de mapas de suelos en escalas razonables de una porción importante de su territorio.

Los suelos son un elemento fundamental de la producción de alimentos, fibras y madera, con lo que el aumento de esa producción, por el crecimiento de la población y de la economía mundial, los somete a presiones y a riesgos crecientes. Junto con otros recursos del ambiente, los suelos pueden sufrir procesos de degradación como consecuencia de su mal uso.

La erosión es un proceso de pérdida del material superficial (que también puede afectar capas profundas) por efecto de arrastre del viento y del agua. Se habla, así, de erosión eólica y erosión hídrica. Sucede por diversas causas, relacionadas con la pérdida del equilibrio de los ecosistemas, aunque, por lo general, desencadenadas por la disminución de la cobertura vegetal. Tal disminución puede tener su origen en el desmonte de áreas forestales, el inadecuado pastoreo, las labranzas agrícolas inconvenientes o la quema de restos vegetales (o una combinación de estos factores). Características propias de cada suelo y del ecosistema influyen en los procesos de erosión, entre ellas la estructura del suelo, la intensidad de las precipitaciones o de los vientos, el gradiente y longitud de las pendientes, etcétera.

Se estima que un 20% del territorio argentino está afectado por erosión hídrica o eólica, es decir, unos 60 millones de hectáreas. Las consecuencias de la erosión de los suelos no se agotan en la pérdida de su productividad agrícola; pueden incluir la destrucción de vías de comunicación, inundaciones en zonas urbanas y rurales, sedimentación de lagos y embalses, y deterioro general de ecosistemas y agroecosistemas (figura 4).

La erosión hídrica afecta particularmente las zonas de clima húmedo con agricultura intensiva. El aumento de las precipitaciones ocurrido en las últimas décadas en diversas áreas del país ha llevado a una extensa deforestación con el propósito de poner nuevas tierras bajo cultivo. Esto sucede en el Chaco semiárido, que constituye un ambiente frágil y con alto riesgo de erosión. Ello hace necesario un manejo cuidadoso de las prácticas agropecuarias, para conservar las propiedades de los suelos.

En zonas de clima seco, que abarcan una gran porción de la Argentina, se dan situaciones de extensa y muchas veces irreversible desertificación. Así, en la



Figura 4. Erosión hídrica en el noroeste argentino.

Patagonia el excesivo pastoreo por hacienda ovina, más el sistemático corte de arbustos para leña, han hecho disminuir la cobertura vegetal, desaparecer especies forrajeras valiosas e incrementar las áreas cubiertas por grandes médanos (figura 5).

La salinización de suelos en zonas de agricultura irrigada, como algunas de la Patagonia, Cuyo y el noroeste argentino, producida por un deficiente manejo del agua o por la falta de sistemas de drenaje, ha llevado también a la degradación de ambientes y pérdida de importantes extensiones para el uso productivo.

Además de las pérdidas visibles que producen los procesos de erosión y salinización, existen formas más sutiles de degradación, que tienen lugar en los suelos de mejor aptitud agrícola y son consecuencia de la agricultura continua. Una de ellas es la extracción sin reposición de sustancias nutrientes por parte de los cultivos, que constituye una pérdida de fertilidad química. Hay sistemas de laboreo que conducen a la degradación física, por ejemplo la formación de costras superficiales u otras capas compactadas que disminuyen la porosidad del suelo y perturban el ciclo natural del agua (figura 6).

El mayor uso de productos agroquímicos, como insecticidas o herbicidas, genera riesgos de contaminación, que en la Argentina todavía son menores, pero no están realmente cuantificados.

La degradación de los suelos no es exclusiva del medio rural o de los ambientes naturales. También en las áreas urbanas y periurbanas ocurren numerosos procesos de degradación del suelo, entre otras causas, por explotación de canteras, instalación de basurales, fabricación de ladrillos y actividades industriales, así como la alteración del escurrimiento natural de las aguas, que contribuye a que se produzcan inundaciones.

Como conclusión de lo expuesto, se puede afirmar que el suelo conforma un sistema extremadamente com-



**Figura 5.** Erosión eólica en la meseta patagónica.

plejo, que no solo constituye un recurso para las actividades agropecuarias sino, también, una fuente servicios ambientales o ecológicos. Este bien colectivo y finito se encuentra bajo presiones crecientes, que llevan a su deterioro o su pérdida integral. Si bien el suelo ha constituido siempre un elemento esencial para las actividades humanas, no es sino recientemente que se ha tomado conciencia de la trascendencia social que tienen este y otros recursos naturales, y que se han generado los conceptos de agricultura y de desarrollo sostenibles.

El cambio global, el uso intensivo, la extensión de la frontera agrícola y la expansión de las áreas urbanas son todas circunstancias actuales que requieren tanto un mejor conocimiento como una mejor utilización de los recursos naturales en general y de los suelos en particular. Además de la aplicación de tecnologías adecuadas, la conservación de los suelos requiere de legislación y políticas de Estado apropiadas. Y, paralelamente, de acciones educativas dirigidas a todos los sectores de la comunidad. Solo con estas se logrará difundir la conciencia del asunto y permitir que se tomen las acciones necesarias para transmitir el legado a las generaciones futuras. **CH**

*Las fotos que ilustran esta nota fueron tomadas por el autor. El mapa de la figura 3 es del Atlas de suelos de la República Argentina, INTA, 1990 (actualizado por G Cruzate, 2007).*

### Datos del autor



#### Héctor J. M. Morrás

Doctor, Universidad de París VII, Francia.

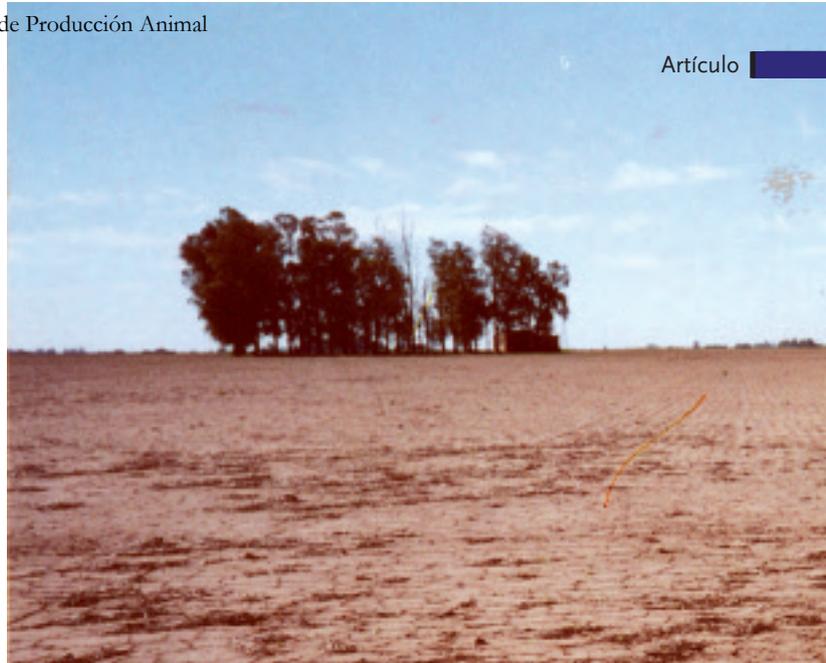
Profesor adjunto, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

Profesor titular visitante, Escuela de Posgrado, Facultad de Agronomía, UBA

Profesor asociado, Carrera de Agronomía, Universidad del Salvador.

Investigador, Instituto de Suelos, INTA Castelar.

[hmorras@cni.inta.gov.ar](mailto:hmorras@cni.inta.gov.ar)



**Figura 6**

Arriba:

Encostramiento del suelo producido por la agricultura intensiva en el sur de Santa Fe.

Abajo: Detalle.



### LECTURAS SUGERIDAS

**CASAS R**, 1998, 'Los procesos de degradación y la conservación de suelos en la República Argentina, en DURÁN D (ed.), *La Argentina ambiental. Naturaleza y sociedad*, Lugar Editorial, Buenos Aires.

**INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA**, 1990, *Atlas de suelos de la República Argentina*, 2 tomos, Buenos Aires.

**INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA**, 1995, *El deterioro de las tierras en la República Argentina. Alerta amarillo*, Buenos Aires.

**MORRÁS H**, 2003, *La ciencia del suelo en la Argentina. Evolución y perspectivas*, Ediciones del INTA, Buenos Aires.

**PREGO A** (ed.), 1988, *El deterioro del ambiente en la Argentina*, Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Buenos Aires.

**ROBERT M**, 1996, *Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Masson, París.