

Los suelos urbanos

Estudio de caso de la región metropolitana de Buenos Aires

Introducción

El suelo es un componente esencial del medio natural que cumple numerosas funciones y servicios tanto ecosistémicos como ambientales. Sus características son el resultado de la combinación de una serie de elementos, llamados factores de formación, que incluyen biota, relieve, clima, material originario y tiempo. Estos se interrelacionan entre sí y condicionan el tipo y la intensidad de los procesos formadores de los suelos, hasta que alcanzan un estado de equilibrio dinámico con las condiciones naturales y se plasman en sus propiedades. Estas pueden ser propiedades morfológicas, físicas y químicas, que permiten la diferenciación en horizontes o, por el contrario, pueden conducir a la simplificación o mezcla del perfil del suelo.

El creciente rol que juega la humanidad como factor modificador de suelos es ampliamente reconocido. La continua y abusiva utilización de este recurso por parte del hombre condiciona negativamente sus propiedades, interfiere con su génesis y trunca su evolución, ya que no solo actúa sobre los suelos en sí mismos sino también sobre los propios factores de formación. Estos condicionamientos se asocian a los diferentes usos de la tierra, siendo especialmente evidentes y significativos en las zonas urbanas, los que resultan en heterogeneidades en los materiales y/o diversas formas de degradación tanto físicas como químicas y biológicas. Tan notoria es la acción antrópica que actualmente se considera a la humanidad como el sexto factor de formación de los suelos.

En particular, las acciones humanas generan relieves antrópicos y producen materiales antrópicos. En el Área

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los suelos urbanos productos de la acción antrópica en la Región Metropolitana de Buenos Aires.



Figura1. Fuente: FAO.



Figura 2. Suelo natural típico del Área Metropolitana de Buenos Aires, predio del INTA Castelar.

Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) estos son notorios, especialmente en la zona litoral costera del estuario del Río de la Plata, donde los rellenos a partir de los materiales dragados y otras fuentes (como materiales de construcción, excavaciones de la red de subte, etcétera) han implicado la generación de varios miles de hectáreas de geoformas antrópicas, llegando a ser este sector de la costa el más modificado del país.

La caracterización, clasificación y cartografía de los suelos urbanos es un proceso sumamente complejo, principalmente por la gran variabilidad en los materiales y procesos. Aun así, su estudio permite interpretar tanto su evolución como su comportamiento frente a los diferentes usos actuales y futuros, por lo que se ha convertido en un campo novedoso de investigación en las últimas décadas.

El suelo es un sistema abierto que evoluciona transformándose hasta alcanzar el equilibrio con las condi-

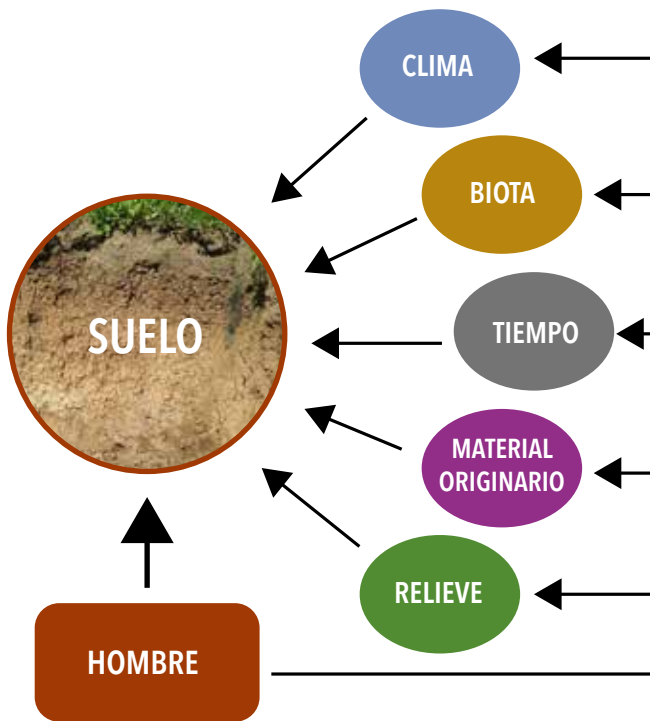


Figura 3. Factores de formación del suelo y la influencia directa e indirecta del hombre

ciones ambientales y a partir de ese momento tiende a permanecer en un equilibrio dinámico. La energía necesaria para su formación proviene de distintas fuentes: gravedad (controla los movimientos), energía conservada en los minerales (no es renovable, decae) y energía solar, tanto en el agua como en los organismos.

Los efectos de la urbanización en los suelos son variados y significativos, alterando en forma directa o indirecta las funciones de estos. El principal factor de formación de suelos en las poblaciones humanas es el tipo de uso de la tierra. La actividad antrópica puede acelerar o ralentizar los procesos pedogenéticos, crear nuevos materiales originarios, influir sobre las condiciones de temperatura y humedad, modificar la dinámica biológica, promover la meteorización, interactuar con los procesos geomorfológicos y/o modificar completamente las funciones de los suelos naturales.

Los suelos urbanos

La urbanización forma parte de uno de los principales procesos de transformación del territorio y los ecosistemas. Por lo general, el cambio se incrementa desde el centro de las ciudades hacia la periferia de manera desordenada y sin respetar la dinámica natural, y también se acumulan los efectos a través del tiempo, sien-

| Influencias de las acciones antrópicas sobre los factores de formación de los suelos | |
|--|--|
| CLIMA | Clima urbano, cambio climático, aumento de la escorrentía superficial, sequías, inundaciones |
| BIOTA | Deforestación, cultivos, introducción de especies exóticas, extracción de la cobertura vegetal |
| RELIEVE | Relieve antrópico, excavaciones, rellenos, cambios en los regímenes de erosión y deposición |
| MATERIAL ORIGINARIO | Materiales antrópicos, mezcla de materiales, introducción de metales y polvo |
| TIEMPO | Permanente rejuvenecimiento de los suelos por alteraciones en los anteriores. El tiempo 0 de formación de suelos se reajusta |

Tabla 1. Influencia del hombre sobre los factores de formación de los suelos

do frecuente observar diversas problemáticas producto de ello.

Los suelos de zonas urbanas presentan una combinación de numerosos usos, incluyendo actividades industriales, urbanas, forestales y agrícolas, por lo que poseen una fuerte heterogeneidad espacial-temporal, resultante de ingresos de materiales exógenos que se mezclan con los originarios. Las actividades humanas son intensivas y diversas en las ciudades de manera que la evolución de los suelos urbanos está controlada por los mismos factores que los suelos naturales, pero el factor humano impone ciclos de transformación extremadamente rápidos en comparación con los dominantes en condiciones naturales.

Como parte de proyectos de investigación en curso se han realizado más de veinte calicatas en las cuales se describieron los suelos y se tomaron muestras que han sido analizadas, incluyendo propiedades como materia orgánica, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, bases y suma de bases, entre otras. Los resultados de algunos perfiles seleccionados se muestran en las tablas 2 y 3, y la localización de los sitios de muestreo se observa en la figura 2. Las calicatas fueron complementadas con numerosas observaciones de campo, especialmente en diferentes sectores de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Avellaneda, Lanús y La Matanza.

Los suelos reconocidos en la región pertenecen esencialmente al orden molisol (utilizando la Taxonomía de

UBICACIÓN DE PERFILES

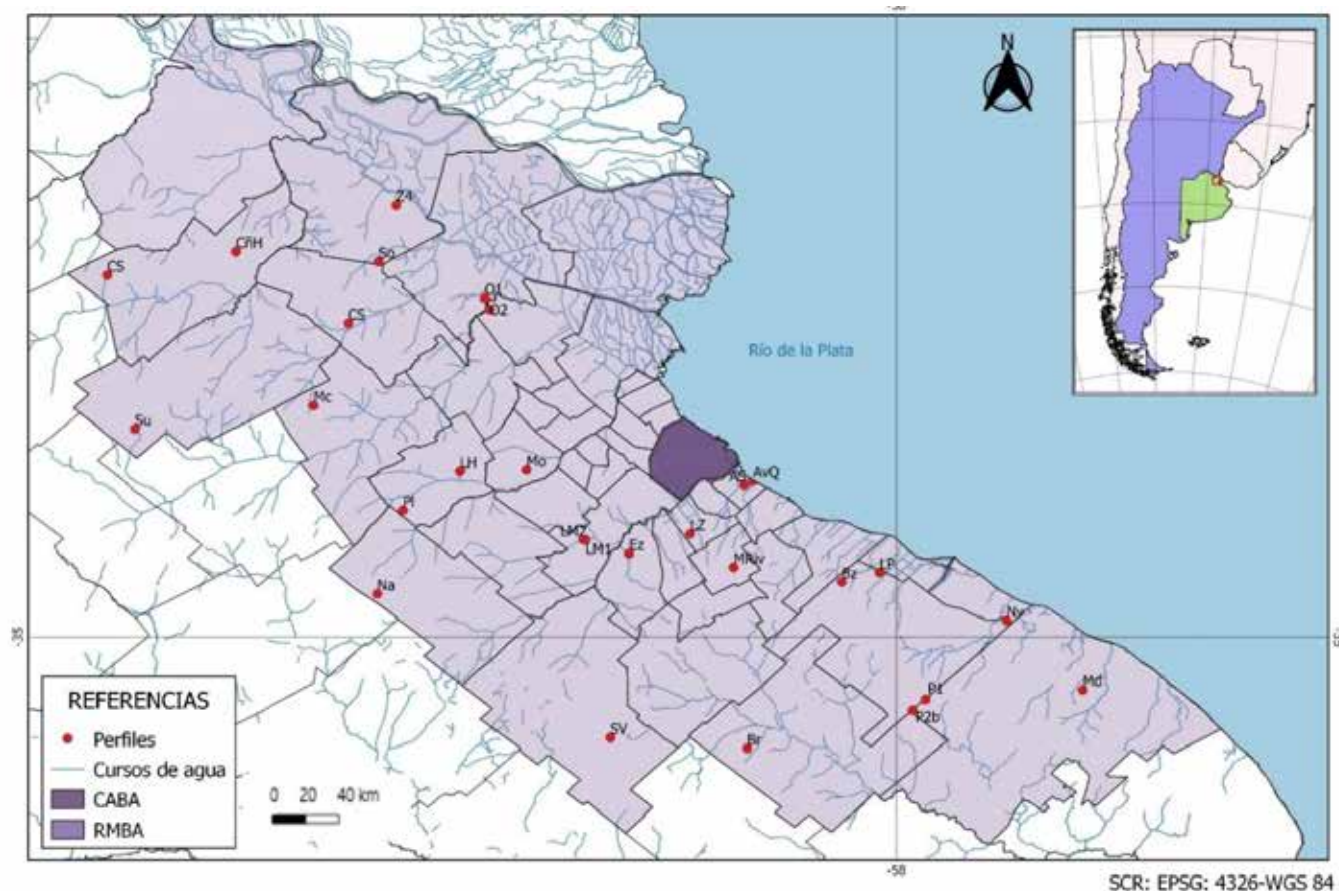


Figura 4. Localización de los sitios de estudio donde se realizaron calicatas y se tomaron muestras.

Suelos, que es la clasificación más usada en el país, tanto en investigación como por parte del INTA en la cartografía), predominado los argiudoles típicos en los sectores más elevados y los acuoles en general en los más bajos. En ambos casos se trata de suelos con potentes horizontes superficiales (A) oscuros ricos en materia orgánica humificada. En el primer caso, se trata de suelos bien drenados con un horizonte de acumulación de arcillas subsuperficial (Bt) y por debajo, generalmente un horizonte C cementado con carbonato de calcio (CaCO_3), denominado petrocálcico o calcrete (conocido como 'tosca'). Son dominantes en la planicie loésica. Los segundos, por el contrario, se localizan en los sectores más bajos con el nivel freático poco profundo o aflorante, por lo que tienen rasgos hidromórficos conspicuos, generalmente en el ambiente fluvial y estuárico. Son menos potentes y usualmente presentan perfiles más simples sin otros horizontes diagnósticos.

Tal como se dijo, las influencias de las acciones antrópicas en zonas urbanas son especialmente significativas, entre las que se destacan mezcla de materiales originarios, presencia de horizontes de origen antrópico y

truncamiento de los perfiles (falta de los horizontes superficiales) y presencia de elementos y compuestos en proporciones anómalas respecto de los suelos naturales. Dentro de estos últimos se ha considerado en este caso la presencia de los llamados metales pesados.

Uno de los primeros efectos de la acción antrópica en los suelos es la compactación, esto es, la destrucción de la estructura, alterando la capacidad de retención de agua y la permeabilidad. Esta situación se ha verificado en la mayor parte de los suelos reconocidos, observándose, como rasgo más notorio, la destrucción de la estructura natural del suelo en la parte superior del horizonte A y a veces el reemplazo por una estructura de tipo laminar.

Por otra parte, los tiempos de formación en los suelos urbanos son demasiado cortos para la formación de horizontes diagnósticos; es por ello que los suelos se encuentran en un estado de permanente inestabilidad o rejuvenecimiento. Al igual que en los suelos naturales jóvenes, el material originario juega un papel central en la diferenciación de los suelos urbanos y las propiedades del suelo. De esta manera, en los suelos urbanos de la región estudiada es posible distinguir distintos tipos

| Ubicación/ propiedades | Horizonte | pH | CE (ds/ cm) | % MO | Ca (meq/ 100 grs) | Mg (meq/ 100 grs) | Na (meq/ 100 grs) | K (meq/ 100 grs) | CIC | Arcilla | Limo | Arena | Clase textural |
|---|---------------|------|-------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------|---------|------|-------|-------------------|
| Suelos de zona de quintas Avellaneda | A1 | 6,93 | 0,4 | 1,6 | 14,23 | 2,02 | 0,79 | 2,33 | 25 | 22,5 | 15 | 62,5 | Franco |
| | A2 | 6,8 | 0,29 | 1,75 | 15,03 | 1,75 | 0,56 | 1,96 | 22 | 25 | 22,5 | 52,5 | Franco |
| | Cg | 6,37 | 0,2 | 1,85 | 14,12 | 1,61 | 0,45 | 1,5 | 19,50 | 35 | 32,5 | 32,5 | Franco-arcilloso |
| Suelos en Arroyo Sarandí Avellaneda | A | 6,65 | 0,53 | 0,8 | 11 | 1,52 | 0,63 | 1,11 | 17,5 | 25 | 35 | 40 | Franco |
| | Bt1 | 6,9 | 0,48 | 0,9 | 12,8 | 1,62 | 0,46 | 0,73 | 18,1 | 32 | 30 | 38 | Franco-arcilloso |
| | Bt2 | 7,5 | 0,23 | 0,95 | 14,61 | 1,7 | 0,37 | 0,52 | 19,77 | 35 | 30 | 35 | Franco-arcilloso |
| Suelos de Ezeiza | A1 | 7,15 | 0,23 | 3,58 | 14,56 | 1,63 | 0,35 | 1,28 | 23 | 17,5 | 50 | 32,5 | Franco-limoso |
| | A2 | 7,22 | 0,19 | 2,42 | 15 | 1,42 | 0,5 | 1,11 | 23,5 | 17,5 | 55 | 27,5 | Franco-limoso |
| | Bt | 7,15 | 0,9 | 1,1 | 11,27 | 1,11 | 0,55 | 0,63 | 16,98 | 40 | 40 | 20 | Arcilloso |
| | BC | 7,09 | 0,78 | 1,42 | 8,46 | 0,99 | 0,43 | 0,66 | 13,47 | 27,5 | 45 | 27,5 | Franco-arcilloso |
| Reserva Santa Catalina | Loma alta | 6,3 | 0,1 | 0,6 | 6,78 | 1,26 | 0,33 | 0,81 | 12,39 | 25 | 50 | 25 | Franco |
| Reserva Santa Catalina | Media loma | 6,51 | 0,93 | 1,500 | 9,11 | 1,49 | 0,46 | 1,11 | 15,5 | 25 | 47,5 | 27,5 | Franco |
| Reserva Santa Catalina | Baja loma | 6,31 | 0,82 | 0,86 | 8,08 | 1,42 | 0,31 | 0,88 | 14 | 20 | 50 | 30 | Franco |

Tabla 2. Datos de perfiles seleccionados

| Ubicación/ metales pesados | Suelos naturales de la provincia de Buenos Aires (Lavado <i>et al.</i> , 2004) | | Suelos de zona de quintas Avellaneda | | | Suelos de Arroyo Sarandí Avellaneda | | |
|----------------------------------|---|----|--------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|-------|-------|
| | A1 | A2 | Cg | A | Bt1 | Bt2 | | |
| Ni (ug/g) | 6,67 | | 23,75 | 18,8 | 11,95 | 19,7 | 16,75 | 18,75 |
| Zn (ug/g) | 55,25 | | 201,9 | 149,25 | 60,45 | 270 | 111,4 | 55,65 |
| Pb (ug/g) | 15,50 | | 58,65 | 36,5 | 8,45 | 53,7 | 106,7 | 17,5 |
| Cu (ug/g) | 18,50 | | 62,8 | 144,2 | 32,65 | 52,6 | 66,35 | 21 |
| Cr (ug/g) | 24,33 | | 156,3 | 147,92 | 137,16 | 96,67 | 95,25 | 32,45 |

| Ubicación/ metales pesados | Suelos de Ezeiza | | | | Reserva Santa Catalina, Lomas de Zamora | | | Decreto 831/93 Niveles guía calidad de suelos ley 24.051 | | |
|----------------------------------|------------------|-------|-------|-------|---|------------|-----------|---|-----------------|----------------|
| | A1 | A2 | Bt | BC | Loma alta | Loma media | Loma baja | Uso agrícola | Uso residencial | Uso industrial |
| Ni (ug/g) | 30,4 | 37,8 | 37,1 | 35,5 | 28,1 | 14,75 | 13,35 | 150 | 100 | 500 |
| Zn (ug/g) | 73,57 | 71,45 | 91,1 | 83,4 | 89 | 78,1 | 17,9 | 600 | 500 | 1500 |
| Pb (ug/g) | 39,2 | 41,8 | 34,95 | 38,45 | 41,55 | 14,65 | 12,4 | 375 | 500 | 1000 |
| Cu (ug/g) | 29,85 | 26,45 | 29,5 | 30,7 | 29,85 | 28,75 | 83,65 | 150 | 100 | 500 |
| Cr (ug/g) | 58,25 | 55,55 | 67,95 | 74,8 | 102,2 | 47,1 | 67,8 | 750 | 250 | 800 |

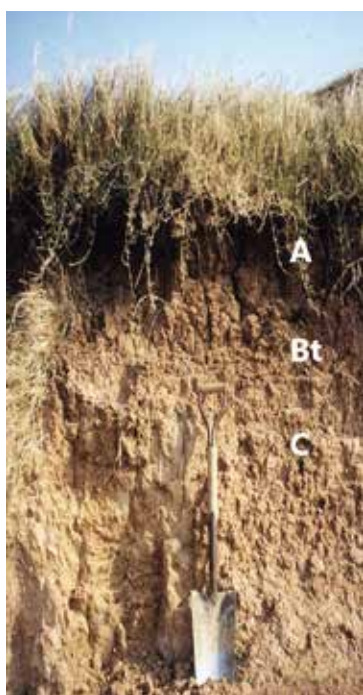
Tabla 3. Concentraciones de metales pesados para los perfiles seleccionados.

de materiales originarios: 1) puramente naturales (sedimentos o regolitos); 2) materiales naturales removiliados por acciones antrópicas; 3) mezcla de materiales naturales con materiales antrópicos, pudiendo dar como

resultado materiales y horizontes úrbicos (ladrillos, cemento, vidrio, materiales de construcción, residuos orgánicos, concreto, etcétera); 4) materiales enriquecidos con materia orgánica y/o humus (por ejemplo, prove-

| EFFECTO DE LA ACCIÓN ANTRÓPICA | PROPIEDADES MODIFICADAS |
|--|--|
| Compactación, encostramiento y cambios en la densidad aparente | Textura, estructura, porosidad y permeabilidad |
| Introducción de contaminantes y materiales úrbicos, orgánicos y técnicos | Propiedades físicas y químicas |
| Decapitación y soterramiento | Perfil del suelo |
| Modificación de las condiciones de drenaje de los suelos | Condiciones de hidromorfismo |
| Modificación de biodiversidad | Propiedades biológicas y químicas |
| Cambios en el pH, conductividad y resistividad | Propiedades químicas |

Tabla 4. Efectos directos de la actividad antrópica sobre las propiedades del suelo.



Izquierda. Figura 5. Suelo natural típico del AMBA correspondiente a un argiudol típico. Perfil ubicado en la zona norte donde se observan los tres horizontes: potente horizonte A de tipo mólico, oscuro, rico en materia orgánica, por debajo horizonte Bt argílico con estructura prismática característica y por debajo horizonte C con acumulación de carbonato de calcio. **Derecha. Figura 6.** Incorporación de materiales de origen diverso en el perfil del suelo (materiales úrbicos). Predio de Segemar, partido de San Martín, provincia de Buenos Aires.

nientes de residuos, compostaje, etcétera), y 5) materiales artificiales de origen industrial, mineros.

Los suelos urbanos en la Región Metropolitana de Buenos Aires

Dentro del área urbana y periurbana de la RMBA pocos suelos mantienen sus características y rasgos originales, mientras que otros han sufrido sucesivas transformaciones, perdiendo sus características naturales. El límite entre horizontes distintos se caracteriza por un contraste abrupto de ciertas propiedades como textura, estructura, densidad aparente, aireación, conductividad hidráulica, color, valor de pH y composiciones químicas. En consecuencia, un suelo urbano presenta fuertes discontinuidades

litológicas dentro de los perfiles. Pueden diferenciarse los siguientes:

1. Suelos naturales
2. Suelos influidos por el hombre
3. Suelos modificados por el hombre
4. Suelos hechos por el hombre

Los suelos naturales preservan sus perfiles normales o parte de ellos y ocurren en zonas de parques o forestadas o en las zonas de reservas o aledañas a cursos fluviales, mar o lagos. Sus propiedades están escasamente modificadas, aunque los análisis químicos pueden revelar altas concentraciones de metales pesados y pH anómalos en comparación con suelos naturales de la zona no urbanizada, dando lugar a los suelos influidos por el hombre. En la RMBA son más evidentes en las zonas pe-

riurbanas, especialmente hacia el sur, como la zona rural de los partidos de La Plata, Luján, Cañuelas y Mercedes, entre otros.

Los suelos modificados por el hombre corresponden a suelos transformados especialmente en su parte superior (topsoil), con materiales úrbicos someros, y por debajo de los 50cm los horizontes naturales se mantienen preservados. Aquellos que poseen un uso minero, vinculados a la fabricación de ladrillos, se encuentran por lo general decapitados. En la RMBA, a excepción de sectores aislados, las principales afectaciones son la remoción de los horizontes superficiales, la mezcla de estos con otros materiales o su cobertura por construcciones (viviendas, calles, etcétera). Así, se encuentran suelos sellados o tapados por cemento, asfalto o construcciones. En diversos sectores de la ciudad de Buenos Aires se encuentra este tipo de suelos, reconociéndose perfiles naturales a partir del horizonte Bt, inmediatamente por debajo del pavimento o asfalto de calles y avenidas. Asimismo, en sectores residenciales e industriales de La Matanza y Avellaneda se han observado suelos con un horizonte superficial antrópico por encima de un perfil natural que suele comenzar también en un horizonte Bt (o argílico).

Los suelos hechos por el hombre son aquellos que poseen un material de origen totalmente antrópico, con o sin capas impermeables y con o sin horizonte diagnóstico. Se incluyen en este grupo los rellenos en planicies aluviales, zona costera, cavas, rellenos sanitarios, entre otros, generándose en todos los casos un relieve antrópico. En estos últimos, los suelos han ido adquiriendo propiedades naturales como es el caso de la reserva Costanera Sur o en la zona de Costanera Norte en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Es destacable la velocidad con la que algunas propiedades se han manifestado

en estos suelos, caracterizados por la diferenciación de horizontes, procesos de melanización, iluviación e hidromorfismo, que se materializa en la presencia de horizontes superficiales oscuros (ricos en materia orgánica humidificada), rasgos relacionados con la migración incipiente de arcillas y moteados respectivamente. En estos sectores, la antigüedad de los rellenos es menor que 60-50 años, por lo que estas características que han adquirido los suelos generados en materiales y geoformas artificiales han sido desarrolladas en tiempos menores que estos. Finalmente, en los terraplenes y laterales de excavaciones de autopistas, avenidas o ferrocarriles ocurre algo semejante. En ellos se han formado suelos de diferentes grados de desarrollo como, por ejemplo, en los laterales de la avenida General Paz, límite entre la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la provincia de Buenos Aires, donde los suelos formados tienen menos de ochenta años y han desarrollado conspicuos horizontes superficiales húmiferos. Lo mismo puede observarse en los terraplenes de los ferrocarriles, como por ejemplo en la zona de Avellaneda, provincia de Buenos Aires.

Otro aspecto frecuente en zonas urbanas es que los suelos contengan contaminantes, como compuestos orgánicos o metales pesados. Las propiedades que regulan el comportamiento de los contaminantes en los suelos son aquellas que se relacionan con la adsorción y la naturaleza del complejo de intercambio integrado por (1) materia orgánica (contenido y tipo de humus); (2) mineralogía de las arcillas; (3) CIC, y 4) medio del suelo (pH y condiciones de óxido-reducción).

En general, los suelos de la región considerada presentan características naturales que tienden a favorecer la adsorción de cationes. En todos los casos analizados de numerosos suelos de la RMBA, las concentraciones



Suelos formados sobre materiales antrópicos depositados. **Izquierda. Figura 7.** Cantera en Luján. **Derecha. Figura 8.** Excavación en sector industrial, cercano al cementerio de La Tablada, La Matanza.

| FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN ZONAS URBANAS | MATERIALES |
|---|--|
| Actividad industrial | <ul style="list-style-type: none"> ➤ ORGÁNICOS ➤ INERTES DE COMPOSICIÓN VARIABLE ➤ RADIATIVOS ➤ METALES PESADOS ➤ FOSFATOS, SALES ➤ HIDROCARBUROS Y PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO ➤ FERTILIZANTES Y PESTICIDAS ➤ RESIDUOS DOMICILIARIOS, PELIGROSOS, PATOGENICOS Y/O ELECTRÓNICOS ➤ EMISIONES DE COMBUSTIÓN ➤ MATERIAL PARTICULADO |
| Tránsito vehicular | |
| Rellenos sanitarios | |
| Minería (colas de lavado) | |
| Vuelco y manejo inadecuado de residuos especiales | |
| Agroquímicos | |
| Contaminantes atmosféricos | |
| Aguas de riego y residuales | |
| Lodos de depuración | |

Tabla 5. Fuentes de contaminación y materiales en suelos urbanos.



Arriba: Izquierda. Figura 9. Horizonte Bt del suelo por debajo del asfalto en la avenida Nazca (CABA). **Derecha. Figura 10.** Suelo antrópico y por debajo, un antiguo Bt, predio de Universidad Nacional de La Matanza, San Justo.


Abajo: Figura 11. Suelos úrbicos. **Izquierda. A.** Reserva Costanera Sur. **Derecha. B.** Horizonte A con mezcla de materiales antrópicos, formando un horizonte úrbico. Monte Inglés, Avellaneda.

de metales pesados detectadas son anómalas, superando las concentraciones naturales significativamente, aunque por lo general no llegan a sobrepasar los niveles guía. En líneas generales la presencia de elevados tenores de metales pesados es atribuida a la actividad industrial y al tránsito vehicular.

Consideraciones finales

Pese al evidente y creciente rol de la humanidad como factor modificador y creador de los suelos, el estudio de dichas modificaciones en los ambientes urbanos hasta ahora ha sido relativo. Se ha focalizado esencialmente en los usos agropecuarios y en sus efectos en la productividad y no en sus impactos en todas las funciones que los suelos desempeñan. Sin embargo, en forma creciente,

esta problemática está siendo abordada cada vez más por investigadores de diferentes formaciones. En tal sentido, nuestro país no es la excepción, más teniendo en cuenta su larga y valiosa historia de estudios edáficos. En particular, en numerosos centros y universidades de la RMBA las investigaciones en los efectos de las acciones antrópicas en los suelos de la zona urbana y periurbana constituyen un campo novedoso y en expansión.

Los suelos en zonas urbanas muestran significativos cambios respecto de los naturales. Las modificaciones son variadas y resultan de la influencia directa de las acciones antrópicas sobre los mismos suelos, así como en forma indirecta, a través de la modificación de los factores de formación y los procesos pedogenéticos. Finalmente, el desarrollo de la agricultura urbana y familiar implica necesariamente el estudio de los suelos y sus particularidades en estos tipos de ambientes. 

LECTURAS SUGERIDAS

FAO. www.fao.org/

INTA. inta.gob.ar/

LAVADO, RS, ZUBILLAGA MS, ÁLVAREZ R. & TABOADA MA, 2004, 'Baseline levels of potentially toxic elements in Pampas Soils', *Soil & Sediment Contamination*, 13: 427-437.

MORRÁS H, 2010, 'Ambiente físico del Área Metropolitana', en Lattes I, Alfredo E, Donati JM y Zuloaga N (eds.), *Dinámica de una ciudad 1810-2010*, Dirección General de Estadística y Censos Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, pp. 27-61.

PEREYRA FX y RAGAS DB, 2021, *Los suelos de la pampa ondulada: características, clasificación, distribución y génesis, provincia de Buenos Aires, Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales-Segemar, Buenos Aires.

PEREYRA FX, 2004, 'Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental', *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (3): 394-410.



Fernando X Pereyra

Doctor en Ciencias Geológicas, FCEN, UBA.
Profesor titular UNDAV.
Investigador UNDAV y Segemar.
Director de la carrera de Ciencias Ambientales, UNDAV.
ferxp2007@yahoo.com.ar



Deborah B Ragas

Licenciada en Ciencias Ambientales, UNDAV.
Ayudante de primera, UNDAV.
Investigadora UNDAV.
dragas@undav.edu.ar