

# Los recursos naturales (suelo) y su relación con el paisaje. Impactos de los disturbios antrópicos generados

**Adriana Ana del Carmen Rollán, Omar Antonio Bachmeier**  
**Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba,**  
**Argentina.**

Todo proceso de urbanización trae aparejado, inevitablemente, un impacto ambiental más o menos grave (Romero y Vásquez, 2005). Uno de los componentes del ambiente que sufre este disturbio es el suelo el cual, ve afectadas sus propiedades intrínsecas naturales y los procesos en los que ellas intervienen (Merlotto et al., 2012).

Las características y la intensidad del impacto deben ser objeto de un adecuado diagnóstico para estar en condiciones de mitigar sus efectos y, eventualmente, rehabilitar el suelo llevándolo a un estado lo más próximo al original (Folch, 2003; Noguera-Tur, 2016).

Por lo expuesto es necesario identificar y evaluar aquellos indicadores de calidad de suelo particularmente sensibles a los efectos antropogénicos (Rollán y Bachmeier, 2013). No obstante, para cumplir con este objetivo es necesario establecer algunas definiciones básicas como punto de partida del análisis.

En primer término, es necesario establecer que el suelo es un sistema natural heterogéneo, polifásico y polidisperso (Figura 1). Es heterogéneo, en la medida que se halla compuesto por distintas sustancias minerales en un 90 a 97% y, por componentes orgánicos de diversa composición, pero de gran impacto sobre los procesos funcionales del suelo. Estos componentes sólidos constituyen una de las fases del suelo a la que se

debe sumar una fase líquida (agua del suelo) y una fase gaseosa (atmósfera del suelo), las que en conjunto le dan su característica de sistema polifásico.

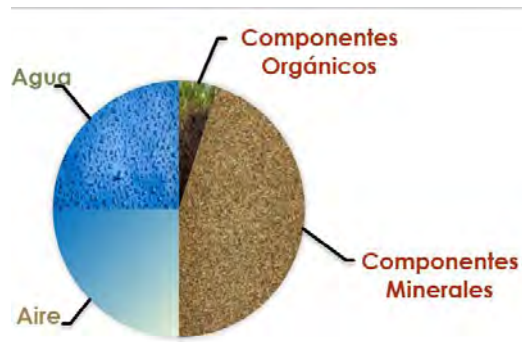


Figura 1: Proporción relativa aproximada de los distintos componentes del suelo.

Además, se lo considera un sistema polidisperso ya que está conformado por partículas individuales de distinto tamaño clasificadas arbitrariamente, aunque funcionalmente, en arcilla (menor a 2  $\mu\text{m}$ ), limo (entre 2 y 50  $\mu\text{m}$ ) y arena (entre 50 y 2000  $\mu\text{m}$ ). Las diferentes proporciones en las que se pueden encontrar estos diferentes tamaños de partículas constituyen la granulometría del suelo la que, a su

vez, define su clase textural (Bachmeier et al., 2013).

Las partículas individuales se agrupan entre sí formando agregados gracias a la acción cementante de compuestos orgánicos, hifas de hongos, carbonatos alcalinos térreos, óxidos metálicos, etc. Dichos agregados conforman la denominada estructura del suelo de manera tal que entre los agregados se forman poros interagregados y dentro de dichos agregados se generan poros intraagregados. Toda esta red, más o menos continua de poros que recorren la matriz de suelo conforman otra propiedad fundamental del suelo: su porosidad (Figura 2).

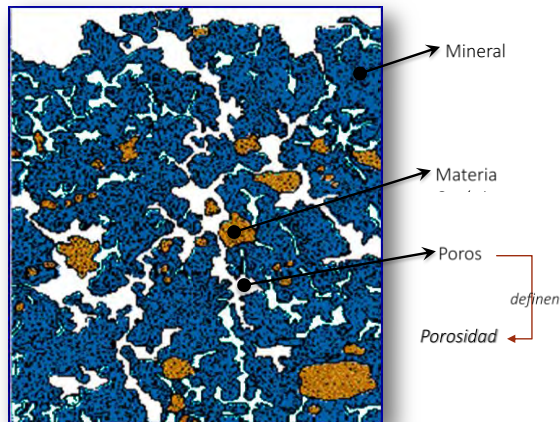


Figura 2: Componentes del suelo agrupados en agregados estructurales, conformando la matriz sólida edáfica, entre la cual se ubica la red de poros que constituye la "Porosidad".

Esta trama de poros constituye los espacios por los cuales circula y se almacenan el aire y agua del suelo fundamentales para sostener la vida microbiana y la de las plantas superiores. Es tal la importancia de la porosidad del suelo que constituye una medida rutinaria fundamental para acceder a su

funcionamiento físico y funcional (Rollán y Bachmeier, 2015).

Para estimar la porosidad del suelo existen diferentes métodos, pero el más universalmente utilizado, por ser simple y económico, es aquel que se basa en la relación entre la densidad aparente y la densidad real del suelo. Se entiende por densidad aparente ( $D_{ap}$ ) la relación masa/volumen de una porción de suelo sin alterar y por densidad real ( $D_r$ ) la relación masa/volumen de solamente las partículas sólidas, lo cual se esquematiza en la Figura 3.

Sintetizando, es posible definir a la porosidad del suelo como aquella proporción del volumen total del suelo ocupado por poros (idealmente, se encuentra alrededor del 50% del volumen total). Dentro del volumen total de poros cobran especial importancia aquellos de tamaño capilar ya que ellos almacenan el volumen de agua que pueden extraer las plantas. Podríamos definir a ese volumen de agua como la cantidad de agua extractable, la cual se encuentra comprendida en un rango de contenidos hídricos definido por otras dos propiedades fundamentales del suelo: la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Se entiende por capacidad de campo el contenido de agua que permanece en un suelo luego de que ha drenado el agua contenida en los poros no capilares por efecto de la gravedad y, cuando el flujo vertical se produce a una tasa muy baja constante en el tiempo. Por otra parte, el punto de marchitez permanente es aquel contenido hídrico del suelo al cual un vegetal ya no puede extraer agua y marchita inexorablemente aún colocado en una atmósfera saturada de humedad. En otras palabras, ambas propiedades constituyen el límite máximo y el límite mínimo de extracción de agua por parte de las plantas (Rollán y Bachmeier, 2014), lo cual se ilustra en la Figura 4

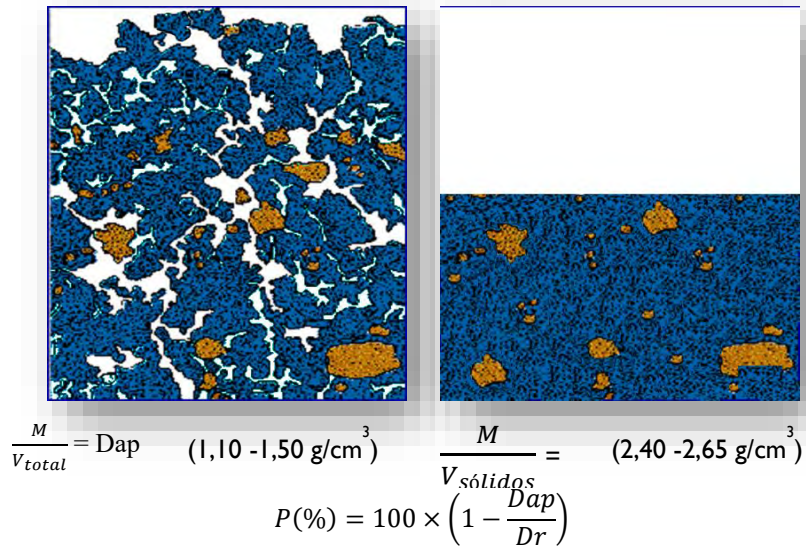


Figura 3: Uso de la Densidad Aparente (Dap) y la Densidad Real (Dr) para estimar la Porosidad total (P.)

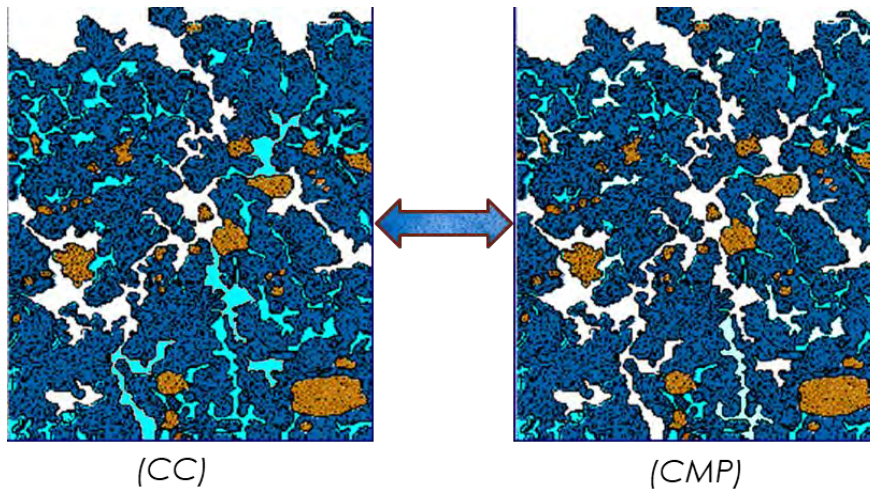


Figura 4: Agua Extractable (AE), rango de contenido hídrico del suelo entre Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (CMP)

Otra propiedad fundamental, asociada fuertemente a las anteriores, es la conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) la cual representa la mayor o menor facilidad con que el suelo permite el paso de agua por unidad de área transversal a su dirección de flujo. Se aplica tanto a la infiltración, es decir, al ingreso del agua a través de la interface atmósfera/suelo como al flujo interno del líquido que permite el drenaje de los excedentes hídricos. La  $K_s$  depende de la porosidad total, de la distribución de tamaño de poros, de la geometría de los poros y del estado de la superficie del suelo. A fin de detallar los procesos edáficos afectados por propiedades sensibles a la actividad antrópica, destacaremos entre los primeros a la partición infiltración/escorrimento, al almacenaje de agua extractable, a los flujos internos de agua, a los fenómenos de drenaje asociados a los anteriores, a la evaporación desde la superficie del suelo y a la transpiración desde la superficie de las hojas de las plantas. Procesos estos asociados a propiedades intrínsecas del suelo como lo son: el estado de su superficie, su capacidad de infiltración ( $K_s$ ), su porosidad total, su distribución de tamaño de poros, el rango de agua extractable y las eventuales resistencias mecánicas tanto superficiales como subsuperficiales (Hillel, 1998).

Con relación al estado de la superficie del suelo, éste puede ser evaluado desde dos puntos de vista: determinando la rugosidad superficial intrínseca, a través de medidas con rugosímetro (Regüés y Torri, 2012) o bien evaluando la protección que ejercen los vegetales implantados o los residuos sobre la superficie (Osuna-Osuna et al., 2015). El efecto del estado de la superficie regulado por la cobertura superficial se observa en la Figura 5, donde se compara la infiltración acumulada en el tiempo medida sobre un rebrote de bosque nativo, con abundante población de gramíneas y restos

vegetales sobre el suelo, en comparación con la infiltración detectada en un parque urbano con alta presión de tránsito antrópico. Ambos sitios se hallaban separados menos de un km en la zona periurbana del sur de la ciudad de Córdoba Argentina (Bachmeier y Rollán, datos no publicados).

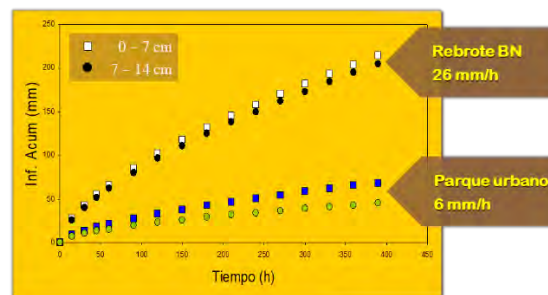


Figura 5: Infiltración acumulada en el tiempo (expresada como mm de lámina de agua ingresada al suelo por unidad de tiempo) para un mismo suelo con dos condiciones contrastantes de cobertura vegetal

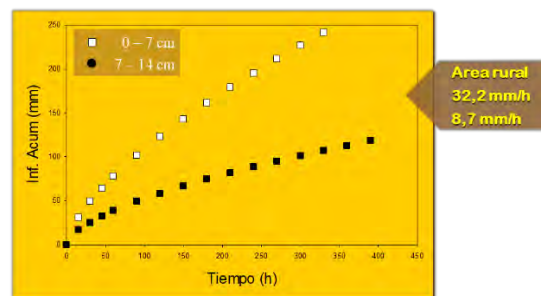


Figura 6: Infiltración acumulada en el tiempo (expresada como mm de lámina de agua ingresada al suelo por unidad de tiempo) para dos profundidades de una parcela bajo cultivos hortícolas, donde se observa la presencia de una capa resistente de 7 a 14 cm de profundidad.

Esta reducción de la tasa de infiltración se fundamenta en procesos de compactación superficial o subsuperficial evidenciados por aumentos de la densidad aparente del suelo detectada en aquellos sitios que demostraron menor permeabilidad al agua (Rollán et al., 2004), lo cual resulta evidente en la Figura 7.

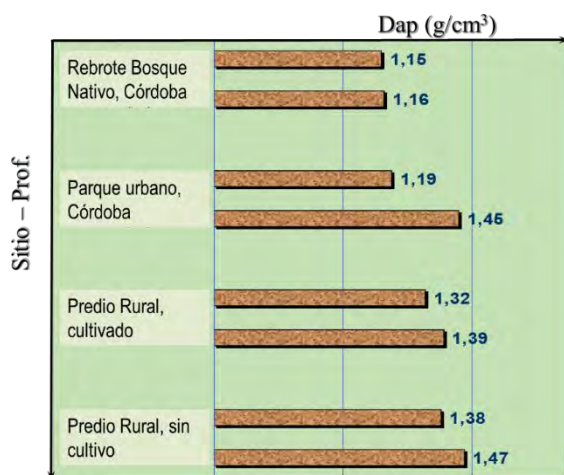


Figura 7: Densidad Aparente (Dap) para dos profundidades (0-7 y 7-14 cm) en distintas condiciones de uso de un mismo suelo de la zona periurbana sur de la ciudad de Córdoba (Argentina).

La compactación mencionada resulta visible en el comportamiento morfológico de las partículas de suelo que adoptan una disposición laminar, impidiendo los procesos de infiltración del agua, penetración de raíces e intercambio gaseoso (Figura 8).

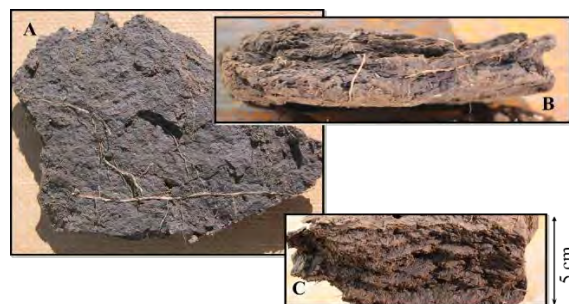


Figura 8: Morfología de una capa de suelo compactada ubicada de 7 a 14 cm de profundidad, vista en planta (A), donde se observan raíces de distribución horizontal ya que no pueden penetrarla. En (B) y (C) se muestra la distribución laminar de la estructura del suelo en una vista de perfil.

Estos fenómenos de compactación tienen su correlato en la cantidad de agua extractable (AE) que puede almacenar un dado suelo, pero el impacto más notable se observa en la pérdida de porosidad total que dificulta tanto el flujo de agua como el intercambio gaseoso imprescindible para la oxigenación del suelo (Figura 9).

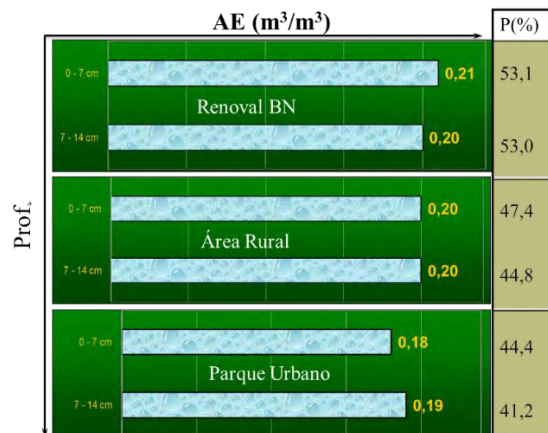


Figura 9: Agua Extractable (AE) y Porosidad total (P) para dos profundidades (0-7 y 7-14 cm) en distintas condiciones de uso de un mismo suelo de la zona periurbana sur de la ciudad de Córdoba (Argentina).

Ahora bien, detectados estos problemas de resistencias mecánicas cabe buscar planteos tecnológicos que tiendan a revertir el proceso. Una de las estrategias posibles se basa en manejos del suelo que incrementen el tenor de materia orgánica ya que, como se observa en la Figura 10, existe un nivel crítico del 2% de materia orgánica del suelo por debajo del cual las resistencias mecánicas se incrementan exponencialmente, mientras que por encima de dicho valor las resistencias son compatibles con los flujos de agua, aire y penetración de raíces (Blanco-Canqui et al., 2005).

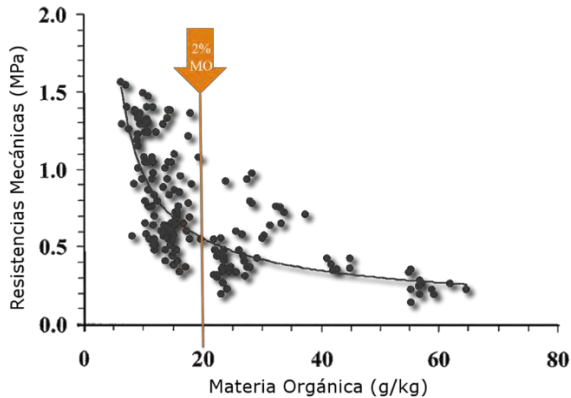


Figura 10: Efecto de la materia orgánica del suelo sobre las resistencias mecánicas a la penetración, indicando el nivel crítico del 2% (adaptado de Blanco-Canqui et al., 2005).

Una alternativa al incremento de materia orgánica y de efecto más inmediato, aunque menos persistente en el tiempo es el empleo de enmiendas inorgánicas como el yeso cuyo uso, al mejorar la estructura del suelo contribuyen a incrementar la conductividad hidráulica, como lo demostró Kost (2018).

En síntesis, en base a la evidencia presentada, es posible afirmar que la degradación física del suelo, como respuesta a acciones antrópicas, afecta propiedades y procesos como...

... la densidad aparente, favoreciendo la generación de resistencias mecánicas.

... los procesos de infiltración y permeabilidad, debido a la compactación de capas superficiales o subsuperficiales que limitan el proceso global.

... La geometría del espacio poroso, al dificultar los procesos de drenaje interno y favorecer el escurrimiento superficial.

Resulta evidente, también, que aún en las mejores condiciones físicas, es necesario considerar la aplicación de enmiendas minerales y/u orgánicas; ellas disminuirán la vulnerabilidad del suelo a la acción antrópica, con incremento de su resiliencia.

## Bibliografía

- Bachmeier, O.A., Buffa, E.V., Hang S., Rollán, A.A. (2013). *Temas de Edafología*. SIMA Editora, Córdoba. 320 pp. 7ª Ed.
- Blanco-Canqui, H., R. Lal, L. B. Owens, W. M. Post, and R. C. Izaurralde. (2005). Strength properties and organic carbon of soils in the north appalachian region. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69, 663–673.
- Folch, R. (2003). *El territorio como sistema. Conceptos y herramientas de ordenación*. Colección Territorio y Gobierno: Visiones No. 3. Diputació de Barcelona, Barcelona.
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. Academic Press. San Diego, CA, USA. 801 pp.
- Kost, D., K. Ladwig, L. Chen, T. M. DeSutter, L. Espinoza, L. D. Norton, D. Smeal, H. A. Torbert, D. B. Watts, R. P. Wolkowski and A.D. Warren. (2018). Meta-analysis of

- gypsum effects on crop yields and chemistry of soils, plant tissues, and vadose water at various research sites in the USA. *Journal of Environmental Quality*, 47, 1284-1292.
- Merlotto, A., Piccolo M.C., Bértola, G.R. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso/cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de geografía Norte Grande*, 53, 159-176.
- Noguera Tur, J. (2016). La visión territorial y sostenible del desarrollo local: Una perspectiva multidisciplinar. Universitat de València, Valencia. 312 pp.
- Osuna-Osuna A.K., J. de J. Díaz-Torres, J. Anda-Sánchez, E., Villegas-García, J. Gallardo-Valdez y G. Davila-Vazquez. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente & Agua*, 10(2), 350-362.
- Regüés, D., Torri, D. (2012). Efecto de la energía cinética de la lluvia sobre la dinámica de las propiedades físicas y el encostramiento en un suelo arcilloso sin vegetación. *Cuaternario y Geomorfología*, 16(1), 57-71.
- Rollán, A.A., Karlin M.S., Bachmeier O. A. (2004). Siembra directa y densificación subsuperficial en molisoles del centro norte de Córdoba. *Actas XIX Congreso Argentino de Ciencia del Suelo 22 al 25 de Junio de 2004. Paraná. En CD-ROM.*
- Rollán, A.A del C., Bachmeier, O. A. (2013). Siembra directa: evaluación de la densidad aparente como indicador de la necesidad de labores de descompactación. *Nexo Agropecuario*, 2, 7-10.
- Rollán, A.A del C., Bachmeier, O.A. (2014). Compactación y retención hídrica en Haplustoles de la provincia de Córdoba (Argentina) bajo siembra directa. *Agriscientia*, 31(1), 1-10.
- Rollán A. , Bachmeier, O.A. (2015). Efecto de la siembra directa continua sobre el comportamiento físico-funcional de los suelos franco-limosos de la región semiárida central de la provincia de Córdoba (Argentina). *Terra Latinoamericana*, 33(4), 189-199.
- Romero, H., Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 31(94), 97-117.