

## **PROPIEDADES Y PROCESOS PEDOGENÉTICOS EN HUMEDALES COSTEROS DEL NORESTE BONAERENSE**

Boff, L.D.<sup>1,2,\*</sup>, P. Ontivero<sup>1,2</sup>, E. Sosa Fabre<sup>3</sup>, J. Salduondo<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata;

<sup>2</sup> Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena-Instituto de Geomorfología y Suelos; calle 1, nro. 644, (1900) La Plata, Prov. de Buenos Aires, [lauraboff@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:lauraboff@fcnym.unlp.edu.ar)

<sup>3</sup> Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC). Cno. Centenario y 506 s/n, (1894) M.B. Gonnet, pcia. de Buenos Aires.

### **RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo generar conocimiento pedogenético como herramienta para la identificación de humedales, tomando como caso de estudio los suelos de humedales costeros del sector noreste de la provincia de Buenos Aires. Se seleccionaron seis sitios dentro de la planicie costera en los partidos de Berisso, Ensenada y Berazategui, tres en la llanura aluvional, clasificados como Fluvacuente y tres en la llanura de fango, clasificados como Epiacuente y Natracuente. Se realizaron descripciones morfológicas de suelos, análisis físicos, químicos y mineralógicos. Todos los suelos estudiados presentaron hidromorfismo durante el período de crecimiento y regeneración vegetal, con predominio de vegetación hidrófita. Se identificaron condiciones de episaturación por anegamiento después de lluvias intensas o por inundación debido a crecientes del Río de la Plata, y endosaturación evidenciada por gleización. La melanización y acumulación de materia orgánica resultaron procesos relevantes en el desarrollo de los suelos, contribuyendo a la retención de altos contenidos de carbono orgánico. A su vez, en la llanura de fango se manifestaron los procesos de vertisolización, sodificación, salinización y argiluvación. Estos procesos pedogenéticos identificados resultan de vital importancia para el desarrollo de las funciones ecosistémicas de los humedales, fundamentales en el contexto actual de cambio climático.

**Palabras clave:** suelos, procesos pedogenéticos, humedales

### **INTRODUCCIÓN**

Los ambientes de humedales presentan gran diversidad geográfica, climática, biológica y genética, y a su vez comparten características básicas que los identifican. En el presente trabajo se considera la definición de humedal planteada para el Inventario Nacional y Provincial de Humedales, que los considera ambientes en los cuales la presencia temporaria o permanente de agua superficial o subsuperficial causa flujos biogeoquímicos propios y diferentes a los ambientes terrestres y acuáticos. Rasgos distintivos son la presencia de biota adaptada a estas condiciones, comúnmente plantas hidrófitas, y/o suelos hídricos o sustratos con rasgos de hidromorfismo. Los humedales son sistemas naturales complejos, por lo tanto es fundamental poder comprender el funcionamiento de cada una de las variables que los definen; a su vez cada una de estas variables son en sí mismas sistemas naturales complejos, abiertos y dinámicos, como el caso de los suelos. Comprender la dinámica pedogenética implica abordar las principales variables que definen los humedales, vinculando los procesos pedogenéticos con las funciones ecosistémicas fundamentales y claves en el contexto actual de cambio climático. En este trabajo se realizó la identificación, descripción, caracterización y clasificación de suelos de humedales costeros del sector noreste de la provincia de Buenos Aires. El objetivo es generar conocimiento pedogenético como herramienta para la identificación de humedales y aporte para el avance necesario tanto de la ley de humedales, el Inventario Provincial de Humedales y la implementación de políticas públicas de carácter ambiental.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron seis sitios dentro de la planicie costera en los partidos de Berisso, Ensenada y Berazategui, según criterios hidrogeomorfológicos. Se realizaron descripciones morfológicas de suelos (Soil Survey Staff, 2017), análisis físicos, químicos (Soil Survey Staff, 2014a) y mineralógicos (Moore and Reynolds, 1989) que permitieron la caracterización de los materiales, y la definición de propiedades y procesos pedogenéticos. Finalmente se clasificaron los suelos según el sistema Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2014b).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos analizados en el presente trabajo se desarrollan en la unidad geomorfológica denominada planicie costera (Fidalgo y Martínez 1983, Cavallotto 2002, Fucks et al. 2017). Los perfiles se sitúan en dos subunidades geomorfológicas, la primera denominada llanura aluvional (LLA), formada por depósitos de playa originados por la selección de material aluvial transportados por el Río de La Plata e influenciada por su dinámica actual. La segunda, llanura de fango (LLF), formada durante el proceso relacionado con el ciclo regresivo del mar holoceno. En ambas subunidades se describieron una amplia diversidad de suelos desarrollados en condiciones de drenaje deficiente (Camilión et. al. 1998, 2005; Boff et. al. 2000; Imbellone y Mormeño, 2011), condición clave para la identificación de humedales. El Inventario de humedales de la Provincia de Buenos Aires Nivel II, categoriza esta zona como "Sistemas de paisajes costeros fluviales del Río de La Plata" (Mulvany et al., 2019). Según la clasificación de Pereyra 2022, estos humedales pertenecen al tipo A Litorales marinos (relicto) y tipo C Mixtos (subtipo C1 humedales de planicies estuáricas). Se ubicaron en el área seis perfiles de suelo, tres en la llanura aluvional (P1, P2 y P3) y tres en la llanura de fango (P4, P5 y P6) en los partidos de Berisso, Ensenada y Berazategui respectivamente (Fig. 1).



Figura 1. Mapa de ubicación de los suelos analizados en la planicie costera (llanuras aluvionales y llanuras de fango) de los partidos de Berazategui, Berisso y Ensenada. LLA Berisso (LLABsso) P1, LLA Ensenada (LLAE) P2, LLA Berazategui (LLAB) P3, LLF Berisso (LLFBsso) P4, LLF Ensenada (LLFE) P5, LLF Berazategui (LLFB) P6.

### A- Llanura aluvional

Los suelos de esta unidad, formados a partir de materiales depositados por sucesivos desbordes del Río de la Plata, fueron clasificados como Fluvacuentes. Exhiben un desarrollo relativamente bajo y presentan variaciones texturales en profundidad, de arenosas a muy arcillosas, que definen discontinuidades en el perfil, y además variaciones laterales evidenciadas por horizontes de poco espesor, en algunos casos lenticulares, que pierden continuidad espacial a corta distancia. No se observan rasgos vérticos y los ensayos de expansión libre evidencian porcentajes de expansión mínimos de 15 y máximos de 70.

Otro rasgo característico es la distribución irregular de la materia orgánica en profundidad, con valores que oscilan entre 14.7% a menos del 1%, y la formación de horizontes orgánicos con material poco descompuesto (Oi) 72% de materia orgánica en el P1 y la particularidad en el P3 de un horizonte orgánico enterrado con un tenor de 32,82 % de materia orgánica, evidenciando la rápida dinámica aluvional. La gran acumulación de



materia orgánica en estos suelos se debe a las condiciones de saturación del suelo, que genera condiciones anóxicas e impide la actividad microbiana responsable de la descomposición de los restos orgánicos, y por otro lado al abundante aporte orgánico que supera la tasa de descomposición en este ambiente de selva en galería. En los horizontes A se evidencia el proceso de melanización, con coloración oscura y valores de luminosidad menores a 4. Son de escasa potencia (menores a 6 cm), con estructura migajosa a granular tanto en el P1 como en el P3, mientras que en el P2 no se presenta horizonte eluvial, desarrollándose sobre los horizontes C, pobres en carbono orgánico, un horizonte de acumulación (Oi). En los horizontes C se observan estructuras masivas o laminares, ambas condiciones que favorecen la lenta permeabilidad. La reacción del suelo (pH) oscila entre ácidos a neutros, no superando el pH 6 y destacándose la acidez del P3 con valores que llegan a 4,43. Los valores de conductividad eléctrica no superan en ningún caso los 4 dS/m por lo tanto son considerados no salinos. La capacidad de intercambio catiónico oscila entre valores bajos de 11 cmolc/Kg en horizontes con predominio de la fracción arena, a medios a altos de 30 y 36 cmolc/Kg en horizontes con alto contenido orgánico o altos porcentajes de arcilla respectivamente. Se destaca el horizonte 30ib del P3 donde la CIC alcanza valores de 70 cmolc/Kg. Con respecto a la saturación en bases, es alta en todos los perfiles.

Los horizontes más profundos presentan colores glei (matices 2,5 Y), observándose permanentemente saturados y reducidos por agua freática cuyo nivel se encontró a los 55-60 cm de profundidad. Este proceso de gleización se evidenció en los tres perfiles. En los horizontes suprayacentes, la presencia de rasgos redoximórficos como moteados de hierro (5YR 5/8 en seco 5YR 4/6 en húmedo), concreciones de Fe (7,5Y 5/6 en húmedo) y Mn (N 1.5/0 en húmedo) indican saturación y estado reducido intermitente, con condiciones de oxidación en algún período del año. Se pueden identificar también pérdidas redox en el P2 en forma de vetas color grisáceas (5Y 5/1 en húmedo). La dinámica hídrica es multigenética: el agua en el suelo presenta distintos orígenes, desde precipitaciones, agua freática hasta inundaciones por sudestadas, generándose procesos de epi y endosaturación. En algunos períodos, estos procesos se superponen y actúan simultáneamente debido a la escasa profundidad a la que se encuentra el nivel freático y al escaso desarrollo que presentan estos suelos, que evolucionan en condiciones de hidromorfismo. Los suelos se encuentran 100% cubiertos por vegetación principalmente hidrófila de las siguientes especies: *Hydrocotyle bonariensis*, *Trifolium repens* sp, *Portulaca* sp y *Rumex crispus* sp, *Echinonorus argentinensis* sp y especies del género *Juncus* (junco).

## B- Llanura de fango

Los tres perfiles analizados de esta unidad (P4, P5 y P6) fueron clasificados como Epiacuert hálico (P4) Epiacuert típico (P5) y Natracuert típico (P6). Efectuando una generalización se pueden distinguir dos materiales superpuestos de diferente origen. En la parte superficial aparece un material arcilloso muy plástico y adhesivo, posiblemente de origen mixto (fluvial y marino) con evidencias de iluviación de arcilla (cutanes) y escasos rasgos vérticos. Subyace en discontinuidad un material muy arcilloso de origen marino cuyas características más notables son los rasgos vérticos y los colores glei muy conspicuos. La granulometría presenta un claro predominio de la fracción arcilla con tenores que oscilan entre un 60 % en superficie a 79 % en profundidad, excepto en el P4 donde los valores se mantienen pero con tendencia decreciente en profundidad. A partir de los difractogramas de roca total realizados en los horizontes más profundos del P4 y P5, se identificaron y semicuantificaron diferentes fases minerales, confirmándose el predominio de minerales de arcilla (50%) (Fig. 2 A, B). La presencia de slickensides muy abundantes principalmente en los horizontes más profundos, indica la presencia de argilominerales expansivos que fue corroborada con los resultados de los análisis de expansión libre, alcanzando valores extremadamente altos de 320%, 280% y 215% en el P5, P4 y P6 respectivamente. A partir de los difractogramas de las muestras orientadas se identificaron tres fases minerales correspondientes a la fracción arcilla. Se realizó el análisis semicuantitativo de las mismas el cual confirma el predominio de argilominerales del grupo de las esmectitas (Fig. 2 A, B), resultado que concuerda con los obtenidos por Imbellone (2011) y Gomez Samus et. al. (2017) para suelos de la zona. Los contenidos de caolinita en P4 son similares a los de esmectita, mientras que en P5 son menores, resultando la illita el argilomineral menos abundante (Fig. 2 A, B). Esta particular mineralogía le otorga a los suelos elevados valores de capacidad de intercambio catiónico. Todos los horizontes de los tres perfiles analizados presentaron valores mayores a 40 cmolc kg<sup>-1</sup>, alcanzando máximos de 48,7 cmolc kg<sup>-1</sup> en el P6, mayores a los obtenidos por Manassero et al. (2013). Cabe destacar la presencia de yeso en el P4, con porcentajes de 4%, asociado a valores elevados de conductividad eléctrica, que alcanzan en los horizontes más profundos



registros mayores al 15 dS/m. Esta condición que permite clasificar al P4 como Epiacuert hálico, se asocia al carácter marino del material parental, además de su ubicación en cotas deprimidas del terreno, lo que favorece el desarrollo del proceso de salinización. El P6 presentó muy altos contenidos de sodio intercambiable (53,3%), con reacción fuertemente alcalina (pH 8,8) clasificándose como Natracuert típico, similar a los suelos descritos por Cabral et al, (2016) en la unidad cartográfica M2 de la Planicie costera, donde se expresan claramente el proceso de sodificación. El P5 fue clasificado como Epiacuert típico ya que presenta similares características al mencionado anteriormente pero con reacción ácida a levemente alcalina, bajos niveles de sodio intercambiable y conductividad eléctrica.

Todos los suelos de esta unidad tienen deficiencias en el drenaje, permeabilidad muy baja, anegamiento superficial muy frecuente y el nivel freático cercano a la superficie. Un aspecto a destacar es la abundancia de rasgos redoximórficos, principalmente los colores glei con matices 2,5Y y 5Y que indican condiciones reductoras extremas en los horizontes profundos, evidenciando endosaturación, condición convalidada en campo con la reacción positiva del reactivo  $\alpha$  dipiridyl. Por otra parte, esta coloración fue atribuida por Gómez Samus op cit. (2017) a minerales con Fe<sup>+3</sup> en su estructura cristalina, en particular a esmectitas ricas en hierro del tipo nontronita/Fe-beidellita, cuyo origen se considera ligado a ambientes con ciclos de inundación/desecación, donde las fluctuaciones de Eh en un medio levemente alcalino, habrían favorecido la incorporación de hierro en la estructura de las esmectitas. Se considera que estos colores reductivos, en estos suelos, se generan por ambos procesos en forma simultánea. Por un lado la neoformación de argilominerales férricos de coloración verdosa y la presencia de compuestos de Fe en estado reducido corroborado en campo. Los moteados de Fe y las concreciones de Fe /Mn se encuentran muy bien expresados en todos los perfiles desde la superficie, generados por la alternancia de períodos de oxidación y reducción, condición que a su vez retroalimenta la formación de esmectitas ricas en hierro. El anegamiento prolongado de origen pluvial impide la mineralización adecuada de los restos vegetales en superficie, que se evidencia por la presencia de horizontes orgánicos (Oi) de poco espesor en el P4 y P6. Analizando el contenido y distribución de materia orgánica, se observaron elevados tenores en los horizontes superficiales (17 % en horizonte A del P4), disminuyendo marcadamente en los horizonte Cgss, con luminosidades menores a 3, lo que estaría vinculado a la posición que este suelo ocupa en el terreno, a las condiciones ácidas a las que está sometido y a la densa cobertura vegetal (100%). Las especies vegetales identificadas en el P4 fueron *Salicornia sp* y *Solanum glaucophyllum sp* (duraznillo); en el P5 se observaron ejemplares de poáceas, y especies de los géneros *Mentha* y *Tripholium* (trébol) y *Solanum glaucophyllum sp* (duraznillo) mientras que en el P6 se desarrollan poáceas y *Distichlis spicata sp*.

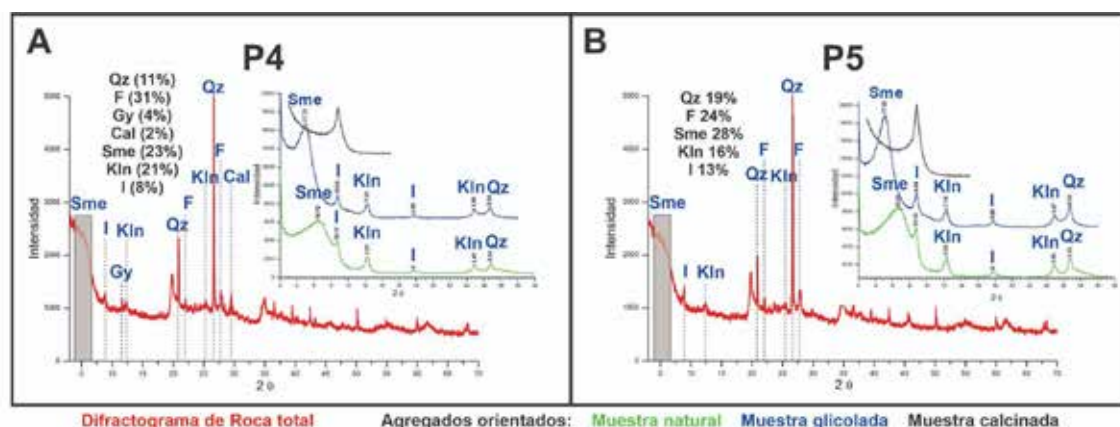


Figura 2. Difractogramas de roca total y fracción arcilla. A. Difractogramas de la muestra del perfil P4. B. Difractograma de la muestra del perfil P5. QZ (cuarzo), F (feldspatos), Gy (yeso), Cal (calcita), Sme (esmectita), Kln (caolinita), I (illita).

## CONCLUSIONES

Diversos procesos pedogenéticos caracterizan el desarrollo de los suelos del área. Todos los suelos estudiados presentan *hidromorfismo* durante el período de crecimiento y regeneración vegetal, ya que entre



las especies identificadas predominan las hidrófitas. Se identifica *episaturación* por anegamiento después de lluvias intensas o por inundaciones por crecientes del río de la Plata y endosaturación, evidenciada por *gleización*, como consecuencia del nivel freático saturando permanentemente los horizontes profundos. . La *melanización y acumulación de materia orgánica* resultaron procesos relevantes en el desarrollo de los suelos, contribuyendo a la retención de altos contenidos de carbono orgánico. En la llanura de fango se manifiestan exclusivamente los procesos de *vertisolización, sodificación, salinización y argiluviciación*. El primero en condiciones húmedas favorece la retención hídrica, pero en épocas de déficit hídrico, el agrietamiento profundo, acentúa el desecamiento del perfil y puede facilitar la percolación a horizontes más profundos (flujo preferencial) alterando la dinámica hídrica y los flujos biogeoquímicos propios del humedal. Estos procesos pedogenéticos identificados resultan de vital importancia para el desarrollo de diversas funciones ecosistémicas, como: (i) regulación de inundaciones y filtro hídrico; (ii) soporte y medio para el crecimiento vegetal y biodiversidad; (iii) reciclado, sumidero, purificación de contaminantes; (iv) fuente de nutrientes, capacidad química reguladora; (v) modificación de la atmósfera, regulación del clima y retención de carbono, función primordial en el contexto actual de cambio climático. Se aportan criterios pedogenéticos como herramienta para la identificación de humedales que vinculan los procesos específicos de los suelos con las funciones ecosistémicas de los humedales costeros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Boff, L., Russo, C. y Camilión, M. (2000). Contenido de metales pesados en suelos hidromórficos. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, pcia. de Bs.As. Con referato.
- Cabral, M.; Muntz, D.; Giani, E.; Hurtado, M.A.; da Silva, M.; Boff, L.; Palma, J.C. y Sánchez, C. (2016) Capítulo 1: Las inundaciones en la región capital: cartografía temática para el planeamiento. Ronco, A. PIO (Proyecto de Investigación Orientado)-Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada. Análisis de Riesgos y Estrategias de Intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental.
- Camilión María C., Challiol Iris B., Russo María C. y Boff Laura D. (1998). Actividades antrópicas y anomalías geoquímicas generadas en los suelos a nivel superficial. Caso: Gran La Plata. Actas de las Quintas Jornadas Geológicas y Geofísicas bonaerenses, Mar del Plata, volumen I, 209.
- Camilión María C., da Silva Mario, Boff Laura D. y Hurtado Martín A. (2005). "Salud en riesgo por contaminación con metales pesados en los suelos aluviales de la margen derecha del Río de la Plata" Jornadas Interdisciplinarias Rioplatenses de Toxicología y Ecotoxicología, Montevideo, Uruguay.
- Cavallotto, J. (2002). Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57 (4), 376-399.
- Fidalgo, F. y Martínez, O. (1983) Algunas características geomorfológicas dentro del partido de La Plata (Provincia de Buenos Aires). RAGA 27 (2), 263-279.
- Fucks, E., D'Amico, G., Pisano, M.F., and Nuccetelli, G. 2017. Evolución Geomorfológica de la Región del Gran La Plata y su relación con eventos catastróficos. Revista de la Asociación Geológica Argentina 74: 141–154 Gómez Samus, M.; Comerio, M.; Boff, L.; Montes, L.; Ontivero, P.; Mercader, R. y Bidegain, J.C. 2017. Minerales con hierro en arcillas vinculadas a la ingesión marina holocena en la llanura costera del Río de la Plata. Implicancias paleoambientales. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis.
- Imbellone, P. y Mormeneo, L. (2011) Vertisoles hidromórficos de la planicie costera del Río de la Plata, Argentina. Ciencias del Suelo 29, 107-127.
- Manassero, M.; da Silva, M.; Boff, L.D. y Hurtado, M.A. (2013) Metales pesados en suelos de la Planicie Costera del Río de la Plata, partidos de Ensenada y Berisso. Ciencia del Suelo, AACS, volumen 31, 253-264.
- Moore, D.M. & Reynolds, R.C. (1989) X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press, Oxford, 187-196.
- Mulvany, S.; Canciani, M.; Pérez Safontas, M.; Tangorra, M.; Sahade, E. y Sánchez Actis, T. (2019). Inventario de Humedales de la Provincia de Buenos Aires. Nivel 2: Sistemas de Paisajes de Humedales –Primer Informe. Organismo Provincial Para El Desarrollo Sostenible (OPDS). La Plata: Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.
- Pereyra F. X., Ragas D.B y Cornacchia M. C. 2022. Clasificación geológica-geomorfológica de los humedales de Argentina. RAGA 79 (2): 275-291.
- Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. 2014a. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt



and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Soil Survey Division Staff. 2014b Keys to Soil Taxonomy omy. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture, 7th Edition.

