

## ILUVIACION DE ARCILLA Y HORIZONTES ARGÍLICOS EN VERTISOLES DE ENTRE RÍOS. EVIDENCIAS Y CONTROVERSIAS

Morrás, H.<sup>1\*</sup>, Bressan, E.<sup>1</sup>, G. Schulz, G.<sup>1</sup> y Contardo, L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Suelos, CIRN-INTA, Las Cabañas y N. Repetto, (1686) Hurlingham, Prov. de Buenos Aires; \* [hmorras@gmail.com](mailto:hmorras@gmail.com)

**RESUMEN:** Se estudiaron dos Vertisoles característicos del noroeste de Entre Ríos en los cuales se ha descrito la existencia de horizontes argílicos: la serie Ramblones clasificada de acuerdo a la adaptación local de la Soil Taxonomy como Peludert argiudólico, y la serie San Gustavo clasificada como Peludert argílico. De acuerdo a diversos datos físicos y químicos (granulometría, higroscopicidad, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico) y análisis micromorfológicos, la serie Ramblones presenta un epipedón mólico y claras evidencias de procesos de iluviación de arcilla y de desarrollo de un horizonte B argílico, aun cuando los revestimientos y fragmentos de arcilla orientada son solo especialmente notorios en los horizontes BC y C. Por su parte el suelo de la serie San Gustavo no presenta incrementos de arcilla en la parte media del perfil compatibles con un horizonte argílico, aun cuando sí se observaron numerosos fragmentos de revestimientos arcillosos y rellenos de arcilla no orientada en la base del suelo (horizontes BC y C). Estos resultados muestran que la argiluvitación de arcilla es un proceso pedogénico activo y diferencial en la Pampa Mesopotámica respecto a gran parte de los Vertisoles de otras regiones del mundo. Sin embargo, la Soil Taxonomy no contempla esta característica en el orden Vertisol y estos dos suelos son clasificados como Hapludertes típicos. Además, ambos suelos resultan incluidos en un mismo taxón a pesar de las notables diferencias que existen entre ellos. En este sentido, y tal como se hiciera oportunamente en nuestro país, parece necesario que la Soil Taxonomy incorpore en el orden Vertisol las modificaciones requeridas para reflejar estas particularidades.

**PALABRAS CLAVE:** vertisoles, horizonte argílico, clasificación.

### INTRODUCCION

Durante largo tiempo se consideró que una característica distintiva de los Vertisoles era un alto grado de uniformidad de la mayoría de sus propiedades, y particularmente una casi ausencia de diferenciación textural debido a un proceso de haploidización por argilipedoturbación, con perfiles de tipo A-C. Posteriormente se reconocieron horizontes B, y actualmente gran parte de los Vertisoles en el mundo presentan secuencias A-Bw-C o A-Bss-C. Sin embargo, en los Vertisoles de la Pampa Mesopotámica desde la década de 1970 se evidenció la presencia de horizontes Bt con notable aumento de la cantidad de arcilla y presencia de revestimientos arcillosos. Además, algunos presentan horizonte A de más de 20 cm de espesor y alto contenido de materia orgánica clasificados como epipedones mólicos. La Taxonomía de Suelos del USDA no consideró la presencia de horizontes argílicos ni de epipedones mólicos, por lo cual localmente se crearon los subgrupos crómico, argílico, crómico-argílico, argiudólico y argiacuólico (Plan Mapa de Suelos de la Prov. de Entre Ríos, 1980; 1990). Posteriormente otros autores reconocieron aumentos graduales de arcilla en profundidad en Vertisoles de diferentes latitudes, basándose en la morfología y en análisis de laboratorio (Dudal y Eswaran, 1988; Satyavathi et al. 2005) y a través de estudios micromorfológicos se determinó la presencia de revestimientos de arcilla iluvial.

Recientemente Morrás et al. (2022) estudiaron suelos vérticos de Entre Ríos incluyendo un Vertisol (serie Ramblones), todos con presencia de horizontes Bt argílicos. De acuerdo a los autores el desarrollo de los horizontes Bt habría sido posibilitado por el carácter poligénico de estos suelos, como consecuencia de la existencia de un depósito loésico superficial sobre el material parental arcilloso de la Formación Hernandarias. Dadas las particularidades de los Vertisoles de la Pampa Mesopotámica y el interés en investigar el origen y la expresión de los procesos de iluviación en estos suelos, en este trabajo se compararon algunas propiedades de dos perfiles representativos de dos series de Vertisoles de Entre Ríos en los que se han descrito horizontes argílicos.

## MATERIAL Y METODOS

Se estudiaron los perfiles de la “depresión” o “bajo” del microrrelieve gilgai de dos Vertisoles localizados en el Departamento La Paz, en las cercanías de la población de San Gustavo. Uno de los suelos es representativo de la serie Ramblones y se encuentra en un paisaje suavemente ondulado en la porción superior de una pendiente con un gradiente de 2%, moderadamente bien drenado. Este suelo, originalmente clasificado como Peludert argiudólico de acuerdo a la adaptación local de la Soil Taxonomy de 1975, se clasifica como Hapludert típico de acuerdo a la versión actual de este sistema (Soil Survey Staff, 2014). El otro suelo de acuerdo a la cartografía correspondería a la serie San Gustavo, aun cuando el elevado contenido de arcilla no se corresponde exactamente con el suelo modal, y en este sentido se asemeja a la serie Santiago. Este suelo se desarrolla en un paisaje ondulado en la porción media de la pendiente. De acuerdo a la versión local de la taxonomía este suelo fue clasificado como Peludert argílico, en tanto de acuerdo a la Soil Taxonomy corresponde también a un Hapludert típico. Ambos suelos presentan gilgai lineal bien desarrollado.

En muestras de cada horizonte de ambos perfiles se determinó la granulometría mediante el método de la pipeta para las fracciones finas y tamizado para la arena; la CIC se determinó por saturación con  $\text{AcNH}_4$  y el carbono orgánico mediante el método de Walkey y Black. En las muestras se determinó asimismo el coeficiente higroscópico (CoH) y la higroscopicidad a humedad ambiente (Hha) (Morrás et al., 2020). En el perfil del suelo Ramblones se determinó el porcentaje de arcilla fina por centrifugación. En ambos suelos se realizó un análisis micromorfológico en corte delgado de muestras no disturbadas con el fin de evaluar los rasgos de iluviación.

## RESULTADOS

### a) Datos granulométricos

En el suelo de la serie Ramblones el *contenido de arcilla* se incrementa progresivamente desde los horizontes A y BA (con textura franco arcillo-limosa) a los horizontes Bt (con textura arcillo-limosa), disminuyendo luego hacia la base del perfil (en el límite entre ambas clases texturales) (Tabla 1). A partir del análisis de *arcilla fina* realizado en este suelo, la relación arcilla fina / arcilla total ( $A_f/A_t$ ) obtenida en el horizonte Bt resulta mayor que en los horizontes A y C, lo cual es un índice complementario del proceso de argiluvación.

Por el contrario, en el suelo de la serie San Gustavo el contenido de arcilla es más elevado que en el suelo anterior, con una textura arcillo-limosa ya en el horizonte A. En los horizontes subyacentes el porcentaje de arcilla se mantiene relativamente constante con la profundidad, correspondiendo a una textura de tipo arcillosa. En el horizonte Bt2 se observa una pequeña disminución en el contenido de arcilla. Dado que en otros perfiles de esta serie se constata también esta disminución de arcilla a este mismo nivel, se puede interpretar que esto correspondería a una variación granulométrica propia del material parental de este suelo.

Tabla 1. Nomenclatura, profundidad y datos analíticos de los horizontes de los perfiles estudiados de las series Ramblones (Ra) y San Gustavo (SG).

Perfil-Horizonte	Prof. Cm	Arcilla total (At) (%)	Limo (%)	Arena (%)	Arcilla fina (Af) (%)	Af / At	CoH (%)	Hha (%)	CIC (cmol/kg)	C.O. (%)
Ra-A1	0-8	33,6	61,7	4,7	19,0	0,51	-	4,9	33,5	3,18
Ra-BA	8-18	37,6	57,7	4,7	22,5	0,59	12,2	4,7	35,3	1,57
Ra-Bt1	18-41	43,5	53,6	2,9	26,9	0,61	-	7,8	37,1	0,96
Ra-2Btkss	41-64	46,7	45,3	3,7	29,0	0,61	-	9,5	37,0	0,57
Ra-2Bckss	64-80	40,7	42,5	6,2	24,9	0,61	13,4	10,2	39,1	0,35
Ra-2Ckss	(80-110+)	39,5	44,1	5,9	19,4	0,49	13,9	6,8	33,4	0,26
SG-A1	0-12	47,5	44,2	8,1	-	-	17,3	8,7	32,1	2,50
SG-Bt1	12-36	54,0	40,9	4,3	-	-	18,0	8,9	35,0	0,63
SG-Bt2	36-71	48,7	43,2	7,3	-	-	16,3	8,5	33,6	0,43
SG-Bkss	71-88	52,0	38,3	5,5	-	-	17,7	9,0	34,7	0,39
SG-Bckss	88-109	55,3	32,4	5,3	-	-	16,2	8,7	37,0	0,17
SG-Ckss	109+	52,4	36,4	3,6	-	-	18,6	9,4	34,7	0,10

#### b) Datos hidro-físicos

El análisis de Hha en el caso del suelo Ramblones evidencia un incremento en los horizontes Bt y BC, y luego una disminución en el horizonte C (Tabla 1). Estos resultados se correlacionan con la variación de la arcilla con la profundidad. Los datos de CoH son incompletos, aunque se relacionarían también con el porcentaje de arcilla (mayor CoH en la base del suelo que en el horizonte BA). Por el contrario, en el suelo San Gustavo los datos de Hha presentan variaciones mínimas con la profundidad. Por su parte los valores de CoH por un lado son más elevados que en Ramblones en coincidencia con la mayor cantidad de arcilla, y por otro lado presentan una variación con la profundidad relativamente coincidente con la variación del contenido de arcilla (*p.ej.* disminución en Bt2).

#### c) Datos químicos y físico-químicos

En el suelo Ramblones, los valores de la *capacidad de intercambio catiónico* presentan una curva coincidente con las variaciones del contenido de arcilla, con valores máximos en los horizontes Bt y BC (Tabla 1). Contrariamente, en el suelo San Gustavo, la CIC presenta valores relativamente constantes con la profundidad, también en coincidencia con las oscilaciones del contenido de arcilla en el perfil (*p.ej.* disminución en Bt2).

En cuanto al *carbono orgánico*, el suelo Ramblones presenta un contenido elevado que disminuye progresivamente con la profundidad, pero que es incluso significativo en el horizonte Bt1, lo que se corresponde con la caracterización de un epipedón mólico en este Vertisol. Por su parte, el suelo San Gustavo presenta un menor contenido de C.O. en el horizonte A, el que disminuye abruptamente en el horizonte Bt1.

#### d) Datos micromorfológicos

En el perfil de la serie Ramblones, los revestimientos de arcilla sobre la superficie de poros son delgados y raros en el horizonte Bt2. En el horizonte BC se observan algunos fragmentos de revestimientos de arcilla orientada (pápulas) en la masa basal, lo que sería el resultado de su incorporación por procesos de expansión-contracción. Por el contrario, en el horizonte C son abundantes y de mayor grosor tanto los revestimientos de arcilla iluvial sobre la superficie de poros como los fragmentos de arcilla orientada (figuras 1-a y 1-b).

En el horizonte B del suelo San Gustavo no se observan revestimientos de arcilla *in situ* ni fragmentados. Sin embargo, en el horizonte BC se observan frecuentes fragmentos de arcilla orientada de gran tamaño incorporados a la matriz del suelo (figuras 1-c y 1-d), así como masas de arcilla pura no orientada relleno de cavidades. Por su parte, en el horizonte C solo son visibles unos pocos revestimientos delgados de arcilla, aunque por el contrario los hipo-

revestimientos de fábrica (slickensides) son más frecuentes y desarrollados que en las otras muestras estudiadas.

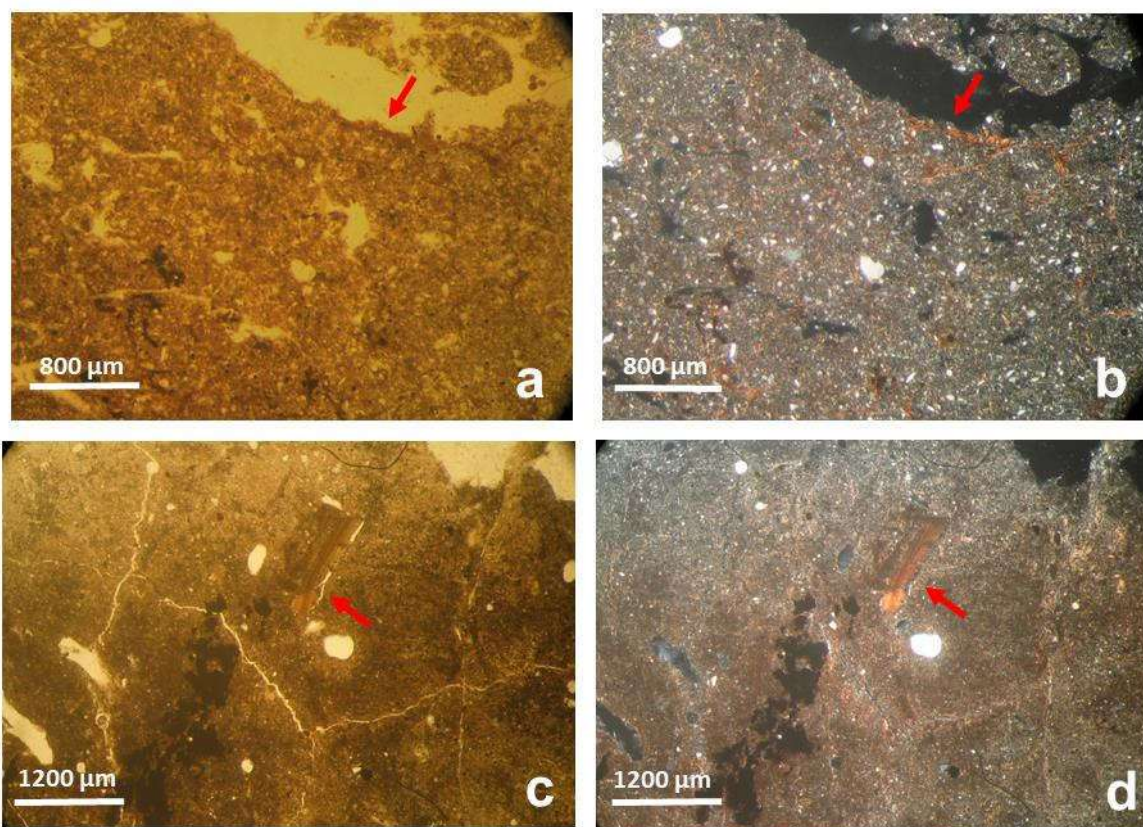


Figura 1. Micrografías de cortes delgados. A) Suelo Ramblones, horizonte 2C. La flecha indica un revestimiento de arcilla sobre la superficie de una fisura. En proximidad se ven pequeños fragmentos de revestimientos incorporados en la masa basal. Luz directa; b) *idem*, con polarizadores cruzados; c) Suelo San Gustavo, horizonte BC. Fragmento de arcilla laminada en la masa basal; d) *idem*, polarizadores cruzados. Nótese la diferencia granulométrica entre las masas basales de ambos suelos.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

En el caso del suelo Ramblones, y aun cuando existe una discontinuidad litológica en el techo del horizonte Bt (Morrás et al., 1993; 2022), el análisis granulométrico muestra un incremento del contenido de arcilla y de la relación arcilla fina/arcilla total en este horizonte así como una disminución hacia la base del perfil, sugiriendo que esto sería resultante de un proceso de iluviación. Además, esta variación de arcilla en función de la profundidad es corroborada por similares variaciones en la higroscopicidad y en la capacidad de intercambio catiónico. Por otro lado, el contenido de carbono orgánico conjuntamente con las características morfológicas de los horizontes superficiales se corresponde con las requeridas para un epipedón mólico.

En cuanto al análisis micromorfológico, este ha permitido poner claramente en evidencia rasgos de arcilla iluvial, en parte fragmentados e incorporados a la masa basal. Aparentemente el primer estudio micromorfológico que identificó rasgos de iluviación en Vertisoles fue precisamente el trabajo de Jongerius y Bonfils (1964) en un Vertisol del sur de Entre Ríos. Posteriormente, Morrás et al. (1993) y De Petre y Stephan (1998) observaron asimismo la presencia de revestimientos y fragmentos arcillosos en diferentes series de suelos de Entre Ríos. En Vertisoles de otros países también se observaron “argilanes”, principalmente en sus horizontes inferiores (Nettleton y Sleeman 1985) y más recientemente en los horizontes Bss (Nordt et al. 2004). En síntesis, el conjunto de los análisis aquí utilizados

evidencia en este Vertisol la existencia de un horizonte Bt resultante de procesos de argiluvación, y apoya el criterio oportunamente utilizado por el Plan Mapa de Suelos de Entre Ríos (Plan Mapa de Suelos Prov. De Entre Ríos, 1980; 1990) de clasificarlo como "Vertisol argiudólico".

Por su parte, el Vertisol de la serie San Gustavo se diferencia del anterior por poseer un epipedón ócrico y por el mayor contenido de arcilla en todos los horizontes. Si bien el delgado horizonte A presenta un porcentaje de arcilla algo menor que los horizontes subyacentes, la variación de esta fracción es reducida a lo largo del perfil, no observándose tampoco un incremento en los horizontes B en relación a los horizontes BC y C. Los datos de higroscopicidad y de la CIC muestran también escasa variación con la profundidad, corroborando los resultados del análisis granulométrico. Sin embargo, el análisis micromorfológico muestra abundancia de rasgos de arcilla iluvial en el horizonte BC, en forma de rellenos y fragmentos de revestimientos.

No obstante, debe notarse que el suelo estudiado presenta alguna dificultad para su clasificación. Es de mencionar que, en las primeras descripciones de este suelo, la secuencia de horizontes identificada fue A-AC-C, lo cual indica que la morfología de campo no es suficientemente fuerte para catalogar la porción intermedia del suelo como horizonte Bt. En este sentido, y de acuerdo a la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), si el material parental fuera homogéneo la variación de arcilla con la profundidad no permitiría considerar aquí la existencia de un horizonte argílico, dado que en este caso se requiere un 8% más de arcilla en el horizonte Bt que en el horizonte eluvial. Por el contrario, en el supuesto de la existencia de una discontinuidad litológica como sugiere la disminución de arcilla en el horizonte identificado como Bt2, solo se requiere la existencia de revestimientos arcillosos "en alguna parte del horizonte argílico". En consecuencia, si se considera que el horizonte BC representa parte de un horizonte argílico enterrado y desdibujado por los procesos de expansión-contracción, la evidencia micromorfológica permitiría clasificar a este suelo como "Vertisol argílico" de acuerdo a la adaptación local de la Taxonomía (Plan Mapa de Suelos Prov. De Entre Ríos, 1980; 1990).

Finalmente debe mencionarse que, de acuerdo a la versión actual de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) ambos suelos son clasificados como Hapludertes típicos. Por un lado, esta clasificación no refleja la existencia de los horizontes argílicos que caracterizan a estos Vertisoles ni del epipedón mólico en Ramblones. Por el otro, la inclusión de estos dos Vertisoles dentro de un mismo taxón no parecería adecuado dado las notables diferencias que existen entre ellos. Tal como se hiciera oportunamente en nuestro país, parece necesario que la Soil Taxonomy incorpore en el orden Vertisol las modificaciones requeridas para reflejar estas particularidades.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a los edafólogos del INTA-Paraná y de la Facultad de Cs. Agropecuarias de la UNER por todo el apoyo brindado en las tareas de campo requeridas para esta contribución.

## **REFERENCIAS**

- De Petre, A. y Stephan, S. (1998). Características pedológicas y agronómicas de los Vertisoles de Entre Ríos, Argentina. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos. 65 p.
- Dudal, R. y Eswaran, H. (1988). Distribution, properties and classification of Vertisols. En: Wilding L, Puentes R (Eds). *Vertisols: Their distribution, properties, classification and management* (pp 1-22) Technical Monograph N° 18, Texas A & M University Printing Center,
- Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos (1980). Suelos y erosión de la Provincia de Entre Ríos. INTA-EERA Paraná, Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 1; Tomo I, 112 p., Tomo II, 80 p.

- Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos (1990). Carta de suelos de la República Argentina. Departamento La Paz, Provincia de Entre Ríos. INTA-E.E.A. Paraná. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 7, Tomos I y II, 321 p.
- Jongierius, A., y Bonfils, C. (1964). Micromorfología de un suelo negro grumosólico de la provincia de Entre Ríos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3, Clima y Suelo*. 1 (2):33-53
- Morrás, H., Bayarski, A., Benayas, J. y Vesco, C. (1993). Algunas características genéticas y litológicas de una toposecuencia de suelos vérticos de la provincia de Entre Ríos (Argentina). En: J. Gallardo (Ed.). *Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Vol II* (pp1054-1061) Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, Salamanca, España,
- Morrás, H., Benedito L., Bressan, E. y Laghi J. (2020). El coeficiente higroscópico de suelos. Ensayos metodológicos y aplicación al estudio de la fracción coloidal y diversas propiedades físicas y químicas asociadas. En: H. Dalurzo, D. Toledo, R. Perucca y S. Perucca (Eds.) *Actas XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Corrientes* (pp. 11-17). Asociación Argentina de Ciencias del Suelo, Buenos Aires. Archivo digital: descarga y online.
- Morrás, H., Bressan, E., Angelini, M., Tenti Vuegen, L., Rodríguez, D. y Schulz, G. (2023). Poligenic Vertisols and "hidden" Vertisols of the Paraná River basin, Argentina. En: Zinck, J., Metternich, G., del Valle, H. y Angelini, M. (Eds). *Geopedology. An integration of Geomorphology and Pedology for soil and landscape studies* (pp. 337-365). Springer International Publishing, Cham. 2<sup>nd</sup> edition.
- Nettleton, W., y Sleeman, J. (1985). Micromorphology of Vertisols. En: Douglas, L. y Thompson, M. (Eds.) *Soil micromorphology and soil classification* (pp. 165–196). Soil Science Society of America Special Publication 15, SSSA, Madison, Wisconsin.  
<https://doi.org/10.2136/sssaspecpub15.c9>.
- Nordt, L., Wilding, L., Lynn, W. y Crawford, C. (2004). Vertisol genesis in a humid climate of the coastal plain of Texas, U.S.A. *Geoderma*, 122 (1): 83-102.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.020>
- Satyavathi, P., Ray, S., Chandran, P., Bhattacharyya, T., Durge, S., Raja, P., Maurya, U. y Pal, D. (2005). Clay Illuviation in Calcareous Vertisols of Peninsular India. *Clay Research*, 24 (2): 145-157.  
<http://krishi.icar.gov.in/jspui/handle/123456789/37049>
- Soil Survey Staff (2014). Keys to Soil Taxonomy. USDA-NRCS, 12<sup>th</sup> Edition, 360 p.