

# ALGUNAS EVIDENCIAS DEL DESARROLLO DE VERTISOLES DE URUGUAY A PARTIR DE ROCAS CRISTALINAS BÁSICAS

Bossi, J.<sup>1</sup>; Durán, A.<sup>1</sup>; Maldonado, S.<sup>1</sup>

Recibido: 17/08/04 Aceptado: 23/10/04

## RESUMEN

Los Vertisoles son suelos de alta fertilidad natural y difícil manejo, extremadamente comunes en Uruguay no muy frecuentes a escala mundial. La naturaleza de su material parental ha interesado a la pedología desde hace varias décadas. Las descripciones de perfiles anexas a la Carta de suelos del Uruguay a escala 1/1.000.000 del año 1976 concluyen siempre que se desarrollan sobre limos cuaternarios o areniscas con abundantes esmectitas. Sin embargo, el análisis de la distribución regional de estos suelos permitió demostrar que los Vertisoles Háplicos se encuentran exclusivamente en áreas basálticas y que dos unidades de asociaciones con Vertisoles Rúpticos y Brunosoles Eutrícos codominantes (Unidades La Carolina e Isla Mala) coinciden con áreas de subsuelo cristalino en las que abundan rocas básicas (anfíbolitas, gabros, prasinitas). En las tres zonas dominan los fenómenos de meteorización sobre la erosión porque pertenecen a bloques en hundimiento isostático. El estudio detallado de algunos perfiles también sugiere la proveniencia por meteorización en sitio de rocas cristalinas ya que contienen gravas a escasos centímetros de la superficie. Este ensayo es una primera contribución que sugiere la posibilidad de formación de Vertisoles en Uruguay por meteorización de rocas básicas y la necesidad de un estudio detallado porque su verificación textural, mineralógica y geoquímica permitirá reconocer y georeferenciar. Vertisoles de diferente composición y contribuir a establecer las condiciones óptimas de manejo.

**PALABRAS CLAVE:** Vertisoles, Basamento Cristalino, Rocas básicas, Uruguay.

## SUMMARY

### SOME INDICATIONS OF VERTISOLS DEVELOPMENT ON BASIC CRYSTALLINE ROCKS

Vertisols are soils of high natural fertility but of difficult management, very extensive in Uruguay though not very common elsewhere in the world. The nature of their parent material has been an issue of interest for geology for decades and most pedon descriptions in the Reconnaissance Soil Map of Uruguay (scale 1:1 000 000, 1976) conclude that Vertisols developed on smectitic quaternary silty clays and sandstones. Yet, the analysis of regional distribution of these soils showed that Haplic Vertisols developed exclusively on basaltic areas, and that two mapping units whit Ruptic Vertisols (and Eutric Brunosols as co-dominant soils) coincide with a substratum of crystalline basic rocks (amphibolites, gabbros, prasinites). Weathering processes predominate over erosion in the three zones because they occur on blocks in isostatic subsidence.

Detailed study of some pedons also suggests that Vertisols developed by in situ weathering of crystalline rocks since they contain basement gravel a few centimeters below the soil surface. This approach is the first geological contribution suggesting the possibility of Vertisols formation in Uruguay from direct weathering of basic rocks. It is suggested that detailed particle size, mineralogical and geochemical studies would allow to identify Vertisols of different composition and contribute to define the best management practices.

**KEY WORDS:** Vertisols, Crystalline Basement, Basic rocks, Uruguay.

<sup>1</sup>Departamento de Suelos y Aguas – Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.

## INTRODUCCIÓN

Hace 40 años que los Ing. Agr. Hugo May y H. Da Silva promovieron que el "Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger" contratara a la Cátedra de Geología para relevar el subsuelo a escala 1/50.000 del "Área de influencia de la Estanzuela" en el Dpto. de Colonia, donde ensayos sobre suelos idénticos en los parámetros entonces evaluados, daban resultados diferentes.

El informe producido en setiembre de 1964 ponía en evidencia que esos suelos idénticos se generaron de materiales parentales diferentes: anfibolitas en uno de los casos; limos cuaternarios que luego se denominarían Fm. Libertad (Bossi, 1966) en el otro. Pero además de esa conclusión surgió con toda evidencia que en la productividad de los suelos, incidía el diferente contenido de oligoelementos en los dos materiales parentales.

Cuando aparece el problema de la génesis de Vertisoles (entonces Grumosoles) en Uruguay, Da Silva (1967) realiza un minucioso trabajo demostrando que en una toposecuencia sobre limos de la Fm. Libertad, en la parte alta se desarrollan Vertisoles Rúpticos con neto predominio de arcillas expansivas (esmeclitas) mientras en la ladera los suelos contenían illita como arcilla dominante.

Según Pedro (1968) Uruguay se localiza en la zona de bisialitización, de modo que las esmeclitas son los productos dominantes en los procesos de meteorización y edafización. Como consecuencia de ello, el pasaje I - (I - M) - M (illita - capa mixta illita esmeclita - esmeclita) es uno de los fenómenos termodinámicamente esperable, pero no pueden excluirse otros procesos que conduzcan directamente a esmeclitas desde rocas cristalinas básicas con  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  y escaso  $SiO_2$ .

Varios autores posteriores encaran la génesis de Vertisoles en diferentes zonas del país recalándose aquí los de Alvarez y Velozo (1974), Altamirano y Puentes (1975), Carnelli y Guarinoni (1976), Pazos (1981), Rossignol (1981) y Elliot y Manfredini (1988), la mayoría de los cuales fueron referidos en detalle por Durán (1986) para soportar su exposición de síntesis y cuyo planteo ha servido de documento de base para el desarrollo de este ensayo. Según los referidos autores, los Vertisoles se desarrollan sobre rocas sedimentarias con alto contenido de montmorillonita o sobre rocas cristalinas que por meteorización permitan la formación de montmorillonita. Plantean la posibilidad de aporte alóctono al sustrato meteorizado en las áreas cristalinas y un común denominador en las descripciones de los suelos en la memoria explicativa adjunta a la "Carta de Reconocimientos de Suelos a escala 1/1.000.000 (DSF/MAP, 1976) es el planteo sistemático de la existencia de un recubrimiento limoso cuaternario cuando los

Vertisoles se desarrollan sobre áreas cristalinas según la Carta geológica 1/1.000.000 publicada por Bossi *et al.* (1975).

El tema merece un tratamiento cuidadoso ya que Durán (1986) expresa textualmente que "aunque los Vertisoles ocupan áreas muy extensas en el país y poseen propiedades muy particulares incluyendo una muy elevada fertilidad natural, no han sido objeto de estudios detallados; la información existente es muy limitada en relación a la importancia de estos suelos".

Para poder avanzar en los conocimientos, uno de los temas a resolver es la naturaleza del material parental de cada unidad, para poder planificar muestreos regionales de suelos representativos en función de las características morfológicas, geoquímicas y geométricas del sustrato geológico de cada unidad. Eso posibilitaría la identificación de áreas homogéneas que es inherente a la metodología de las cartas geológicas permitiendo aplicar criterios geoestadísticos de muestreo y evaluación.

## Vertisoles

Este capítulo ha sido redactado tomando datos de Marchesi y Durán (1969), Durán (1986) y Driessen *et al.* (2001). Los Vertisoles constituyen un grupo de suelos con alto contenido de arcilla ( $42 \pm 8\%$  en el horizonte superficial y algo mayor en profundidad) de color muy oscuro y alta capacidad de contracción-dilatación por la dominancia de esmeclitas en la fracción fina. Son plásticos y pegajosos cuando mojados, tienen alta retención de agua disponible (150-180 mm en un espesor de un metro), y su horizonte superficial presenta una capacidad de intercambio catiónico (CIC) muy alta ( $39 \pm 9$  cmol  $kg^{-1}$ ), pH ligeramente ácido ( $6,4 \pm 0,9$ ) y saturación de bases alta ( $91 \pm 8\%$ ). La estructura superficial es muy estable y en los suelos no arados es normal la existencia de "gilgai" (microrelieve) en ondas (si ocurren en laderas) o circular o de montículos (si ocurren en valles planos).

En Uruguay los Vertisoles se clasifican dentro del Orden de Suelos Melánicos (equivalente a los Molisoles de drenaje libre de la taxonomía de EE.UU.) porque poseen en común con ellos un contenido elevado de materia orgánica, contrariamente a la gran mayoría de Vertisoles en el resto del mundo. Este enfoque es exclusivo de Uruguay, desde la primera clasificación de suelos (Riecken, 1959) en la que ya los "Grumosoles" y los suelos de "Pradera" se definían como Grandes Grupos de un mismo Suborden. En todas las otras clasificaciones de suelos, los Vertisoles se separan al máximo nivel taxonómico.

Los Vertisoles son suelos poco extensos a nivel mundial y de acuerdo al Soil Survey Staf (1999) ocupan 3,16 millones de  $km^2$ , una cifra muy similar a la mencionada por

Driessen *et al.* (2001) de 3,35 millones de km<sup>2</sup>. Ambas fuentes coinciden en señalar que el 50% de estos suelos ocurren en los trópicos. En Sudamérica aparecen principalmente en Uruguay, Entre Ríos (Argentina) y Paraguay (figura 1). Esta situación genera un interés adicional para su estudio porque es la única zona del mundo con Vertisoles sin estaciones seca y húmeda contrastadas en la actuali-

dad, sugiriendo su formación en el período semiárido de hace 2100± 60 años (Montaña y Bossi, 1995).

Es interesante señalar que si bien los Vertisoles y los Molisoles (o sus equivalentes en otras taxonomías) se separan a un alto nivel taxonómico, sus áreas de ocurrencia del punto de vista climático tienen semejanzas evidentes según se observa en el Cuadro 1.



**Figura 1.** Distribución mundial de los principales Grupos de Suelos (FAO-UNESCO, Soil Map of the World, digitized by ESRI.(1997).

**Cuadro 1.** Distribución de Subórdenes de Molisoles y Vertisoles según el régimen de humedad del suelo.

Molisoles 9,005 millones de km <sup>2</sup>	Porcentaje mundial	Vertisoles 3,160 millones de km <sup>2</sup>	Porcentaje mundial
Alboles	0,3		
Acuoles	1,3	Acuertes	1,7
Rendoles	2,9		
Crioles	12,9	Criertes	0,4
Ustoles	58,2	Ustertes	55,9
Xeroles	10,3	Xerertes	3,1
Udoles	14,0	Udertes	12,2
		Torrertes	28,1

\* Soil Survey Staff (1999), simplificado por Durán, A.

Surge del cuadro 1 que las proporciones de los subórdenes en climas ústicos y údicos es casi idéntica y lo mismo ocurre con los suelos con exceso de humedad (Alboles y Acuales por un lado y Acueres por otro). Las diferencias más significativas están en los climas fríos y en los de tipo mediterráneo, en los que los Vertisoles son muy poco frecuentes, y en los climas áridos donde en principio no ocurren Molisoles. En Uruguay y áreas vecinas, el clima es típicamente údico, por lo cual los Vertisoles de la región se encuentran en un clima que no es el más frecuente para estos suelos.

El perfil de los Vertisoles presenta variaciones de espesor y sucesión de horizontes. Algunos muestran perfil A-C con solum profundo y espesor constante (Vertisoles Háplicos) y otros poseen doble perfil de profundidad 20-30 cm y 90-120 cm, con A-C y A-Bt-C respectivamente (Vertisoles Rúpticos). Debe señalarse que solamente la clasificación de suelos de Uruguay reconoce los caracteres Háplico y Rúptico como criterios taxonómicos de los Vertisoles, ya que otros sistemas no hacen referencia a dicho rasgo o no consideran ambos tipos de secuencias de horizontes como componentes de un mismo pedón. En Uruguay se exige que si existe un contacto lítico, debe ocurrir a más de 50 cm para que el suelo se clasifique como Vertisol, si el perfil cumple con los demás requerimientos. Este criterio, fue desechado en otras taxonomías como la de EE.UU. que originalmente también lo incluía. La ocurrencia o no de horizonte argilúvico es otro criterio de subdivisión de los Vertisoles en el país que, con la excepción de la Argentina, tampoco es utilizado fuera de Uruguay. Finalmente, la clasificación nacional exige un contenido mayor de 35% de fracción arcilla en el solum total, que en otras taxonomías en la que también se incluyó el mismo requisito, actualmente se lo fija en 30%. Los Vertisoles se agrietan en períodos secos, habiendo sido éste un criterio taxonómico de uso extendido pero que hoy no se utiliza como exigencia en sentido estricto, si bien se reconoce que el agrietamiento es un carácter típico de estos suelos.

A modo de resumen, según la clasificación uruguaya todo Vertisol debe poseer una o más de las siguientes características:

1. Evidencias de movimiento entre 25 y 100 cm creando caras de deslizamiento
2. Evidencias de automezclado con inclusiones de un horizonte en otro
3. Autogranulado
4. Microrelieve

En la enumeración precedente el criterio 1 es una exigencia esencial para clasificar un suelo como Vertisol en

todas las taxonomías, el 2 se menciona en algunas en tanto que el 3 y el 4 no se emplean habitualmente porque se prefiere utilizar como criterios aquellas propiedades que no se modifican fácilmente con el uso agrícola, enfatizándose en cambio las que ocurren en horizontes profundos. En este sentido, la clasificación uruguaya siempre puso énfasis en las propiedades vérticas de los horizontes superficiales, en tanto que en Europa y EE.UU. se atribuyó mayor importancia a los fenómenos vérticos subsuperficiales. Recientemente se ha renovado la importancia de los caracteres vérticos de la superficie del suelo como criterio taxonómico en la revisión de la clasificación de suelos de Sudáfrica (Laker, 2003).

Dentro del Gran Grupo se reconocen en Uruguay 2 Subgrupos: Háplicos y Rúpticos

Los Vertisoles Háplicos carecen de doble perfil; poseen un horizonte melánico de gran espesor con perfil A-C; la parte inferior del horizonte A puede presentar estructura más grande pudiendo considerarse como B estructural.

Los Vertisoles Rúpticos poseen un típico doble perfil con A-C de 20-30cm en la fase superficial y A-Bt-C de 90-120cm en la fase profunda. En esta fase puede aparecer un B textural indicando que el proceso de traslocación de arcilla por iluviación es más rápido que el automezclado por expansión-contracción. Este doble perfil genera un microrelieve en ondas con diferencias de la vegetación natural, lo que permite un indudable reconocimiento por el diseño en "plumas" (Figuras 2 y 5).

Una característica muy importante de los Vertisoles de Uruguay, que los diferencia de la mayoría de los de otras regiones (excepto Entre Ríos, Argentina), es su alto contenido de materia orgánica ya que generalmente se considera que estos suelos son de color muy oscuro pero de bajo contenido de materia orgánica. Este concepto se ha mantenido casi invariablemente desde la clásica monografía de Dudal (1967) por parte de todos los autores posteriores.

El alto contenido de materia orgánica de los Vertisoles del país fue reiterado recientemente por Durán (1998), Durán, Califra y Molfino (2002), Durán y Califra (2002) y señalándose que estos suelos son los de mayor contenido de materia orgánica del Uruguay. En efecto el contenido de C orgánico medio es de  $3,81 \pm 1,12\%$  (equivalente a 6,6% de materia orgánica en promedio). Otra forma de visualizar esta propiedad es considerando el contenido de C hasta 1 m de profundidad (índice de acumulación de C) que es de  $20 \text{ kg m}^{-2}$  en los perfiles profundos (depresiones del microrelieve), en tanto que en los Brunosoles, también de alto contenido, sólo es del orden de  $12 \text{ kg m}^{-2}$  y apenas superior al de los perfiles superficiales de Vertisoles que es de  $11 \text{ kg m}^{-2}$ .

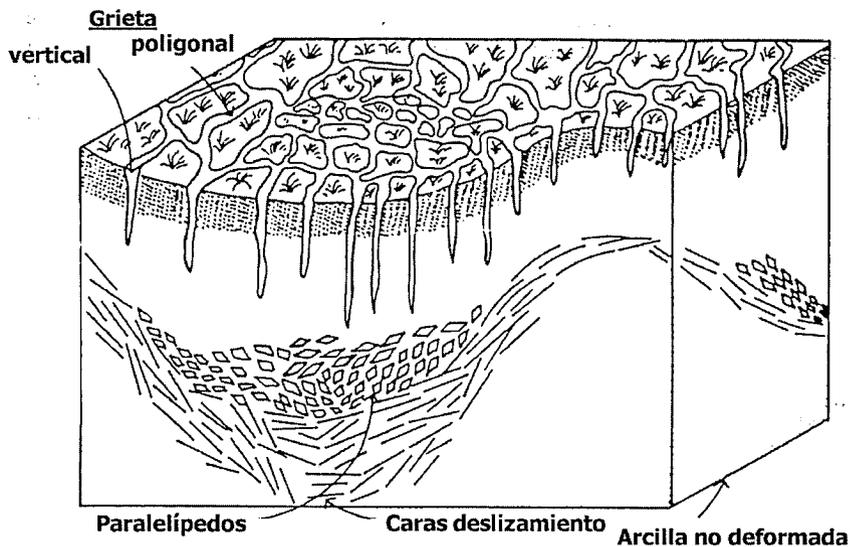


Figura 2. Perfil de un vertisol incluyendo microrelieve "gilgai" (Dudal & Eswaran, 1988).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este ensayo de síntesis ha utilizado fundamentalmente material bibliográfico de Uruguay y otros países, cartas regionales de suelos y geología del Uruguay y cartas topográficas a escala 1/50.000 del sur y fotos aéreas a escala 1/20.000 de 12 zonas de 200 a 5000 ha cada una.

Para la concepción y elaboración de este ensayo se ha aplicado el método geológico de separación de regiones geológicas homogéneas enfocado a un problema de distribución de suelos, correlacionando parámetros apoyados en un sistema de información geográfica. Se han utilizado para ello, dos documentos principales: la Carta de Reconocimiento de Suelos a escala 1/1.000.000 DSF/MAP (1976) y la carta geológica del Uruguay a escala 1/500.000 (Bossi *et al.*, 1998; Bossi y Ferrando, 2001).

Como el tema es tratado desde hace décadas, se ha acumulado abundante información geológica que permite actualmente reconocer zonas de comportamiento regional homogéneo a diferentes escalas con alto grado de certeza. Esto habilita a trazar sus límites y conocer su forma geométrica así como poder diferenciar bloques que han sufrido levantamiento y/o hundimiento, y de ese modo caracterizar zonas de erodabilidad geológica potencial de zonas donde la meteorización domina sobre la erosión.

La existencia de abundantes tesis sobre el problema cartográfico y genético durante el período 1967-1985 y la disponibilidad de 82 monografías de estudiantes de Taller

II sobre Regionalización de recursos naturales con Vertisoles descritos y georeferenciados a escala 1/50.000 desde 1991-2003, han permitido disponer de datos confiables para correlacionar el desarrollo de Vertisoles asociados a Brunosoles Eutrícos con el material parental de cada zona.

El método utilizado ha sido establecer el porcentaje de correlación entre unidades de asociaciones de suelos con Vertisoles co-dominantes y las áreas con estructura geológica definida conteniendo rocas básicas. En las zonas de superposición se han elegido áreas distribuidas con criterios simplemente geométricos para fotointerpretar en detalle y determinar la relación entre áreas de Vertisoles y naturaleza del subsuelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Distribución regional

Este parámetro ha sido esencial para soportar las conclusiones de este trabajo, inspirado en que la Carta de Reconocimiento de Suelo a escala 1/1.000.000 de DSF/MAP (1976) describe 19 unidades diferentes conteniendo Vertisoles dominantes o co-dominantes. En ese documento se describen 3 unidades con Vertisoles dominantes netos (Bellaco, Arapey y Paso Coelho), 2 asociados a Brunosoles Subéutrícos (Cuchilla Corralito y Paso Palmar), 2 asociados a Litosoles (Curtina y Masoller), una unidad

asociada a Brunosoles Eútricos y planosoles (Cuaró) y en 11 unidades diferentes asociados a Brunosoles Eútricos. En el cuadro 2 se describe la nómina completa así como algunas características de cada unidad y el área que ocupa.

Resultó sin embargo sorprendente que se definieran 19 unidades de suelos con Vertisoles y Brunosoles dominantes, lo que generó la sospecha de comportamiento diferencial en algunas de las propiedades y condujo a la idea de que el material parental podría ser el factor preponderante.

**Cuadro 2.** Unidades cartográficas con Vertisoles según la Carta de Suelos del Uruguay (DSSF/MAP, 1976) y Bossi *et al.* (1998), ordenadas según el área abarcada. \* SPG (Sedimentos Pelíticos Grises).

Unidad	Subgrupo de Vertisoles	Asociaciones co-dominantes	Área (km <sup>2</sup> )	%	Subsuelo	
					DSF/MAP (1976)	Bossi <i>et al.</i> (1998)
Bellaco (Be)	rúpticos lúvicos	-	300	0.7	Arcillas	Limos
Arapey (Ay)	háplicos L Ac	-	400	0.9	Limos	Basalto
Paso Coelho (PC)	háplicos L Ac	-	450	1.2	Limos	Fm. Melo
Palleros (Pll)	háplicos L Ac	Brunosoles éútricos	500	1.3	Fm. Yaguari	Fm. Yaguari
Cuaró (Cr)	háplicos Ac (mp)	Brunosoles éútricos y planosoles	550	1.4	Lodolitas	Basalto
Baygorria (By)	háplicos y rúpticos	Brunosoles éútricos	600	1.4	Lodolitas	Basaltos y areniscas
Risso (Ri)	rúpticos lúvicos	Brunosoles éútricos	850	2.1	Lodolitas	Cretácico
San Jacinto (SJc)	rúpticos lúvicos	Brunosoles éútricos	850	2.1	-	Migues
Carpintería (Cpt)	rúpticos lúvicos	Brunosoles éútricos	900	2.1	Limos	Cretácico
Masoller (Ma)	háplicos Ac (mp)	Litosoles y Brunosoles	950	2.1	-	Basalto
Trinidad (Tr)	rúpticos lúvicos	Brunosoles éútricos	1050	2.2	Limos	Cretácico
Lechiguana (Le)	rúpticos lúvicos	Brunosoles éútricos	1200	3.0	SPG *	Fm. Melo
Cuchilla	rúpticos	Brunosoles				
Corralito (CC)	lúvicos Ar Ac	Subéútricos	1500	3.2	Cuaternario	Cretácico
Paso Palmar (PP)	rúpticos lúvicos Ar Ac	Brunosoles Subéútricos	1800	4.1	Cretácico	Cretácico
Isla Mala (IM)	rúpticos	Brunosoles éútricos	2950	7.0	Limos	Cinturón San José
La Carolina (LC)	rúpticos lúvicos	Brunosoles éútricos	3900	9.0	Limos	Anfibolitas
Fala Rodríguez (TI-Rd)	rúpticos lúvicos	Brunosoles éútricos	4150	10.0	Lodolitas	Limos
Curtina (Cu)	háplicos Ac (mp)	Litosoles y Brunosoles	7300	17.0	-	Basalto
Itapebí-Tres Arboles (I-TA)	háplicos	Brunosoles éútricos	12700	29.8	Cuaternario	Basalto

La distribución en todo el país muestra que las unidades con Vertisoles dominantes sólo ocupan 1.200 km<sup>2</sup> pero que las unidades con Vertisoles co-dominantes ocupan 42.000± 2.000 km<sup>2</sup>, es decir, más del 20 % del área del territorio continental uruguayo.

La unidad Itapebí-Tres Árboles, integrada por Brunosoles Eutrícos y Vertisoles Háplicos es la más importante de todas, abarcando un área de 12.700± 500 km<sup>2</sup>, seguida por la unidad Curtina (7.300 km<sup>2</sup>) integrada por Litosoles, Vertisoles Háplicos y Brunosoles.

En la carta de la Figura 3 se han señalado las unidades integradas por Vertisoles (DSF/MAP, 1976) y se han superpuesto líneas geológicas de las principales fallas, el borde del Grupo Arapey (basalto) de Bossi y Schipilov (1998); el borde del Cinturón San José (Bossi y Ferrando, 2001) y una conocida cabalgadura que define el límite sur de una faja de metamorfitos (Bossi *et al.*, 1996; Garat, 1991).

De la observación de este documento surgen varios elementos que resultan significativos para analizar la génesis de los Vertisoles a partir de la relación suelo-roca.

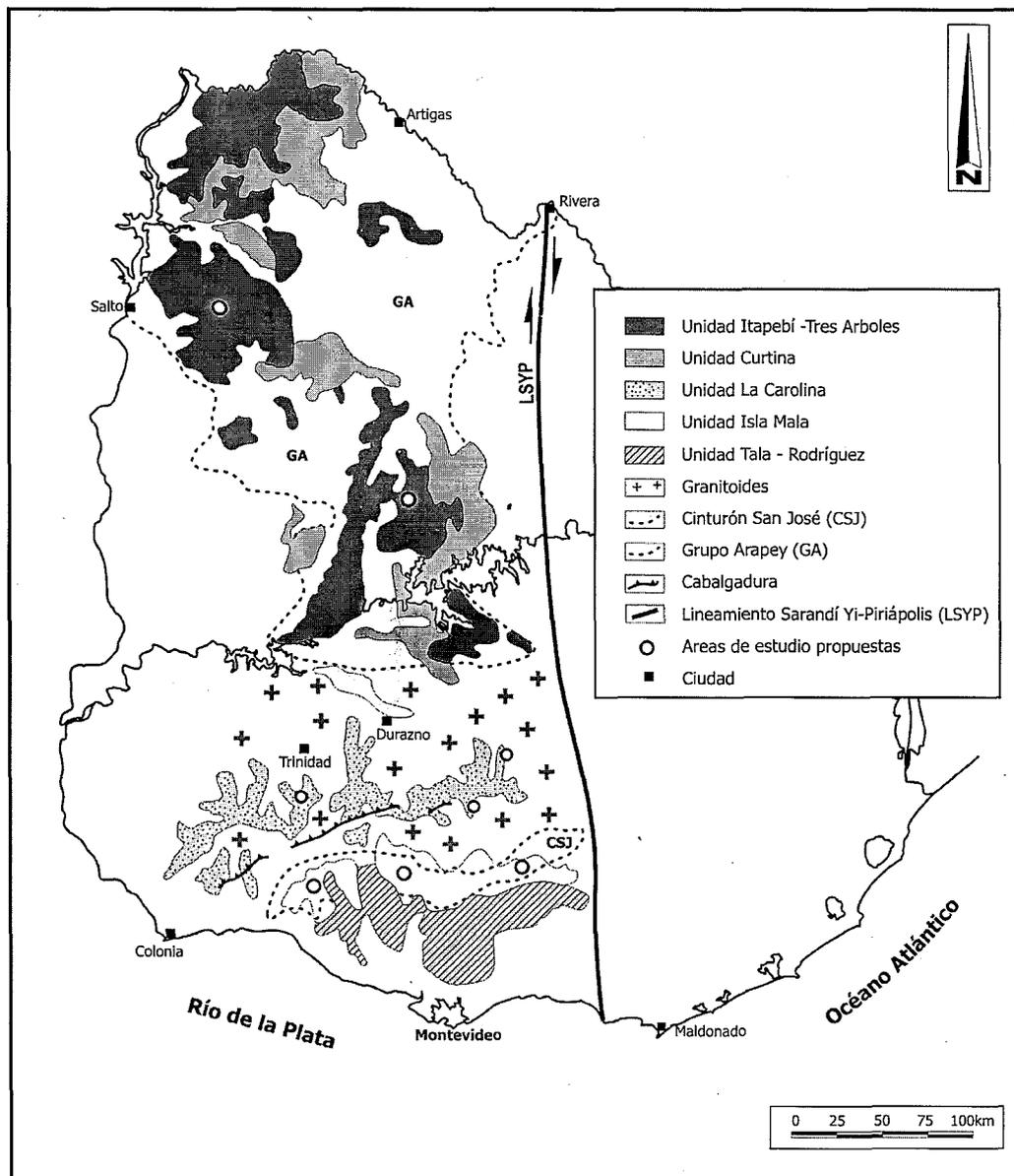


Figura 3. Mapa de asociaciones de suelos con Vertisoles co-dominantes y rasgos geológicos significativos.

- 1- Los Vertisoles Háplicos están casi exclusivamente desarrollados sobre rocas basálticas (a excepción de la unidad Paso Coelho).
- 2- Los Vertisoles Rúpticos de la unidad Isla Mala se desarrollan sobre el Cinturón San José con una correlación de casi el 80 % del área. Este Cinturón contiene abundante cantidad de rocas básicas (prasinitas intercaladas con pizarras carbonosas, gabros hornbléndicos y hornblenditas de la Suite Isla Mala; gabros y noritas del Complejo Guaycurú), Bossi *et al.* (1998).
- 3- Los Vertisoles Rúpticos Lúvicos co-dominantes con Brunsoles Eutrícos de la Unidad La Carolina se desarrolla sobre series metamórficas de grado medio donde gneisses biotíticos y anfibolitas son las litologías dominantes. El límite irregular hacia el norte coincide hasta donde la reducida precisión de los documentos utilizados lo permite- con los cuerpos de granitos y granodioritas de la Faja Florida.
- 4- La unidad Itapebí-Tres Arboles se asocia estrictamente a basaltos de grano grueso y estructura subhorizontal (Formaciones Tomás Gomensoro e Itapebí) o a basaltos con olivina de las Formaciones Piedra Sola y Paso de los Toros. En ambas situaciones los basaltos son fácilmente meteorizables y la descomposición domina sobre la erosión.
- 5- Los Vertisoles Rúpticos, Lúvicos o Típicos, se desarrollan sobre rocas más ricas en sílice y  $Al^{+3}$  permitiendo la formación de montmorillonita, derivada de la descomposición de feldespatos y biotita.

A modo de ejemplificar esta última situación se presentan dos casos puntuales donde la asociación Vertisol-basamento cristalino parece bastante clara.

- a) En la zona tipo de la Unidad La Carolina, la carta geológica de Garat, (1991) señala áreas de la Fm. Libertad sobre rocas metamórficas compuestas por anfibolitas y gneisses en proporciones equivalentes. Reanalizada el área, las zonas cartografiadas como Fm. Libertad, sistemáticamente contienen Vertisoles Rúpticos reconocidos por fotointerpretación en escala 1/20.000 por su microrelieve superficial característico; una de esas zonas fue estudiada por Brasesco y Sganga (1976) reconociendo abundante gravilla en la parte superficial del Vertisol (Figura 4).
- b) El sustrato geológico del Macizo de Pintos localizado sobre el km 145 de la Ruta Nacional N°3, se compone en su totalidad de una asociación de granitoides de composición granodiorítica (términos ácidos) a monzogranítica (como términos básicos). Las relaciones entre estas dos litologías sugieren fenómenos de mezcla de magmas con fenómenos de dobles enclaves y diques de monzogranito de borde rectili-

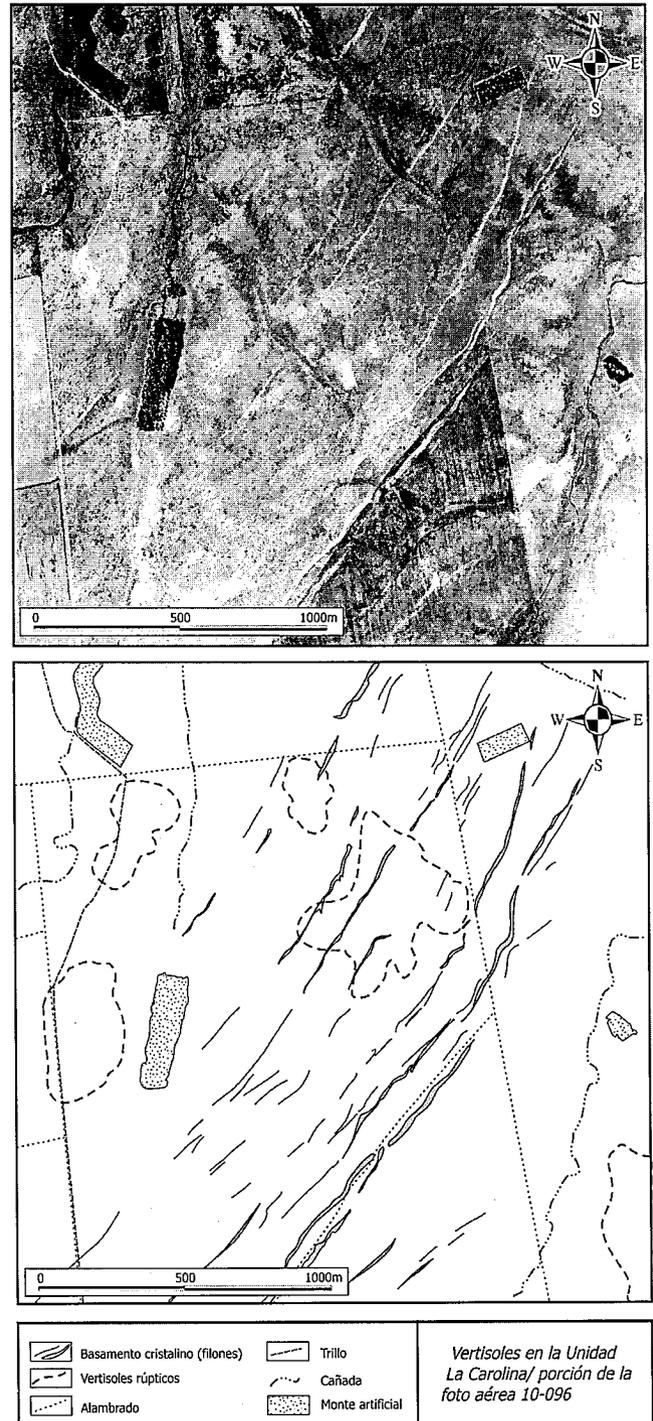
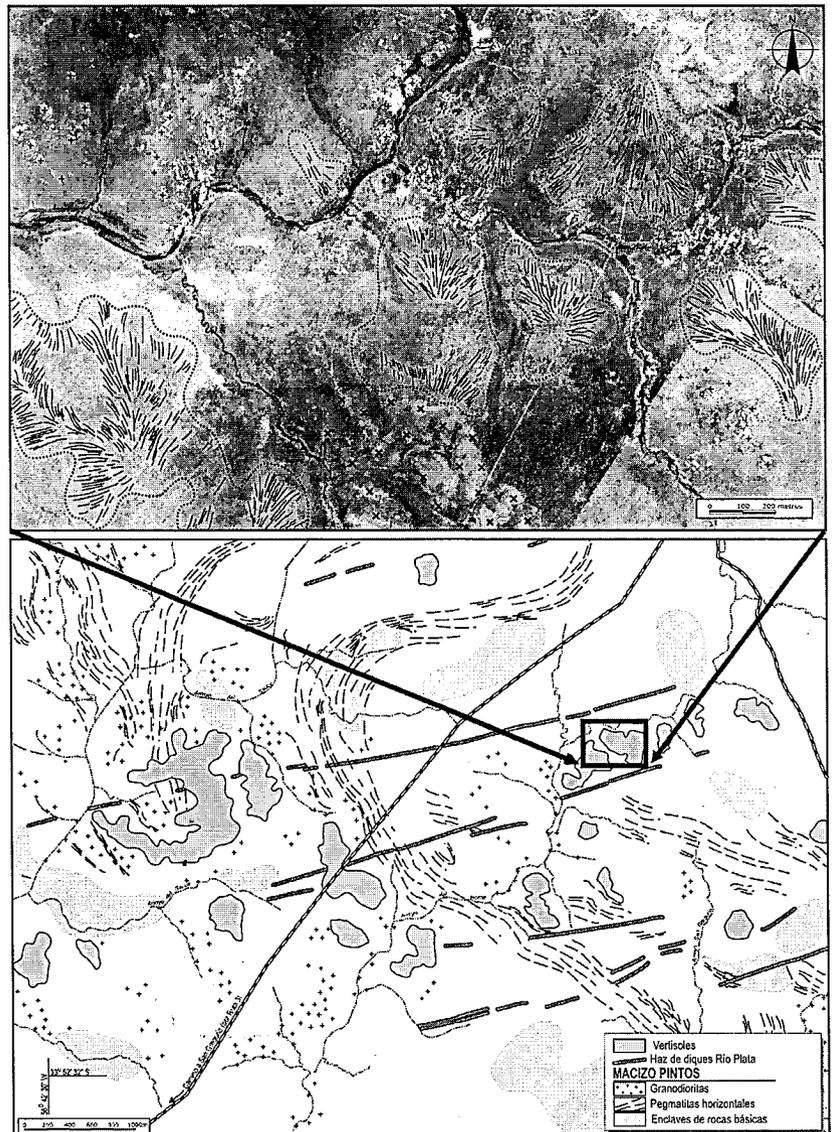


Figura 4. Vertisoles desarrollados sobre anfibolitas (Garat, 1991).

**Figura 5.** Vertisoles desarrollados sobre el Macizo de Pintos (Maldonado *et al.* 2001).



neo recortando a la granodiorita (Maldonado *et al.* 2001). Este cuerpo presenta una fuerte compartimentación debido a pequeñas fallas, tanto en los “bloques hundidos” como en la zona de interfluvio se ha detectado una elevada ocurrencia de Vertisoles Rúpticos. El área se encuentra dentro de la Unidad La Carolina y el ejemplo sirve para mostrar que la formación predominante de esmectitas se asocia a zonas donde domina la meteorización frente a la erosión. En la Figura 5 se presenta la carta geológica del macizo y una porción de foto aérea donde mejor se observaron las “plumas” de los Vertisoles rúpticos desarrollados sobre un sustrato cristalino.

### Descripción de Perfiles

La distribución regional de los Vertisoles permite sugerir que el desarrollo en co-dominancia con Litosoles o Brunosoles está asociado de alguna forma con la naturaleza del material parental y no siempre es posible, ni necesario, acudir a la existencia de un limo cuaternario como el clásico perfil descrito por Da Silva (1967). También quedaría demostrado que el material parental es heterogéneo porque se han reconocido 19 unidades con abundancia de Vertisoles con alguna característica peculiar cada una de ellas. Serán transcriptas algunas descripciones de la monografía que acompaña la Carta de Reconocimiento de Sue-

los (escala 1/1.000.000) para señalar las diferencias. Los valores analíticos se presentarán por separado para un tratamiento diferente.

Alvarez *et al.* (1976) describen la Unidad Itapebí- Tres Arboles en el Dpto. de Paysandú (Cpx=370.0, Cpy=6455.0) en una zona alta plana con pradera natural, de uso pastoril. Es un Vertisol Háptico AC cuyo material generador es "basalto con recubrimiento cuaternario" (Cuadro 3).

Brascesco y Sganga (1976) describen la Unidad La Carolina en el Dpto. de San José (CPx=380.0, Cpy=6250.0) en un interfluvio convexo con 4% de pendiente donde se instala pradera natural con uso pastoril. El material generador estimado es un sedimento limo-arcilloso. Se trata de un Vertisol Rúptico Lúvico Fr y se describieron las fases superficial y profunda (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Perfil de la Unidad Itapebí- Tres Arboles.

Unidad Itapebí – Tres Arboles	Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Vertisol Háptico Ac	A11	0-20	Negro, arcilloso con gravas, bloques subangulares, raíces
	A12	20-35	Negro, arcilloso con gravas, caras deslizamiento, plástico y pegajoso, raíces
	A13	35-70	Negro y pardo rojizo oscuro, arcilloso, guijarros y gravas, bloques angulares gruesos, caras deslizamiento, muy plástico y pegajoso, raíces
	C1	70-80	Pardo rojizo oscuro, arcilloso con gravas y guijarros abundantes, caras deslizamiento
	IIC2Ca	>80	Basalto alterado pardo rojizo oscuro

**Cuadro 4.** Perfil de la Unidad La Carolina.

Unidad La Carolina	Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción	
Vertisol rúptico lúvico Fr	A1	0-15	Negro, franco arcilloso con gravilla, bloques subangulares pequeños	
	Fase superficial	ACCa	15-25	pardo y negro, arcilloso con gravilla, bloques subangulares medios
		CCa	>35	Pardo, arcilloso con gravilla, plástico, películas de arcilla
	Fase profunda	A11	0-13	Negro, franco arcilloso, plástico, raíces
		A12	13-30	Negro, franco arcilloso, bloques subangulares medios, raíces
		B2	30-73	Negro, arcilloso, prismas grandes, películas de arcillas, caras deslizamiento
		CCa	>73	Pardo, arcilloso, prismas grandes carbonatos

Sganga y Brasesco (1976) describen de la Unidad Isla Mala, compuesta por Brunosoles Eutricos Lúvicos y Vertisoles Rúpticos y solamente un Brunosol Eutrico lúvico Fr en la foto 4-143 (escala 1/20.000; CPx=395.0, Cpy=6220.0) del Dpto. de San José. El material generador son sedimentos limo-arcillosos sobre filitas. El uso actual era pastoril en pradera natural (Cuadro 5).

Falco *et al.* (1976) describen en la Unidad Tala-Rodríguez en el Dpto. de San José (CPx=400.0 km, Cpy=6180.0 km) un Vertisol Rúptico Típico, en un interfluvio convexo con 2 % de pendiente sobre sedimentos limo arcillosos de la Fm. Libertad. Es de uso pastoril en una chacra con tapiz regenerado (Cuadro 6).

**Cuadro 5.** Perfil de la Unidad Isla Mala.

Unidad Isla Mala	Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Brunosol Eutrico lúvico Fr	A11	0-16	subangulares medios
	A12	16-28	Pardo oscuro, franco, bloques subangulares medios
	B21	28-45	Pardo grisáceo oscuro, arcilloso con <b>gravillas</b> , bloques angulares grande
	B22	45-70	Gris muy oscuro, arcillo-limoso con <b>gravillas</b> , bloques subangulares grandes
	B31Ca	70-110	Pardo oscuro, arcilloso con <b>gravilla</b> , carbonato de calcio
	B32Ca	110-130	Pardo oscuro, arcillo-limoso son <b>gravillas</b> , películas de arcilla
	CCa	>130	Filita alterada

**Cuadro 6.** Perfil de la Unidad Tala-Rodríguez.

Unidad Tala-Rodríguez	Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Vertisol rúptico típico	A1	0-20	Negro, franco, bloques angulares
	Fase superficial	CCa	Pardo grisáceo, arcilloso, abundantes concreciones calcáreas
	A1	0-13	Negro, franco arcillo-limoso, granular grueso
	B21	13-76	Negro, arcilloso, películas de arcilla
	Fase profunda	B22Ca	76-100
	CCa	>100	Pardo oscuro, arcillo-limoso, concreciones calcáreas

En el Cuadro 7 se comparan los valores analíticos, tomados de Durán (1986), conocidos para un Vertisol Háptico de la Unidad Itapebí-Tres Arboles, un Vertisol Rúptico típico de la Unidad Isla Mala desarrollado sobre rocas del Cinturón San José, un Vertisol Rúptico lúvico de la Unidad

La Carolina desarrollado sobre anfibolitas y gneisses y la fase profunda de un Vertisol Rúptico típico desarrollado sobre un limo cuaternario de la Unidad Tala-Rodríguez. Estos análisis se corresponden con las descripciones de campo antes descritas.

**Cuadro 7.** Análisis de los valores analíticos conocidos de Vertisoles de las Unidades Itapebí-Tres Arboles, Isla Mala, La Carolina y Tala-Rodríguez (tomados de Durán, 1986).

Unidad y tipo de vertisol		H	Espesor	Ar	L	Ac	pH	MO	Ca	Mg	K	Na	C.I.C.	S/T
Itapebí - Tres Arboles (Vertisol Háptico)		A	0-20	7	37	56	5.9	9	37	7	2	1	57	82
		A	20-35	7	25	68	6.4	4	47	8	1	1	64	90
		A	35-69	9	22	69	6.8	3	50	9	1	1	62	90
		C	69-80	11	24	65	7.2	2	51	9	1	1	61	100
		C	>80	53	18	29	8.3	1	43	8	0.5	1	53	
Unidad y tipo de vertisol														
Isla Mala (Vertisol rúptico típico)	Fase superficial	A11	0-10	26	20	54	6.5	5	35	3		3	42	96
		A12	10-18	19	20	60	7.8	3						
		AC	18-30	22	20	59	8.3	2						
		CCa	>30	22	21	57	7.9	0.5						
	Fase profunda	A11	0-7	37	20	43	6.3	7	29	6		2	40	91
		A12	7-30	34	22	44	6.7	6	32	6		3	42	97
		A13	30-50	37	20	43	6.7	4	33	6		3	42	98
		A14	50-75	40	14	46	7.2	2	30	7		2	40	99
		Ac	75-90	31	17	52	7.8	1	32	10		5	47	90
		C1Ca	90-105	30	15	54	8.4	1						
		C2Ca	105-135	25	22	52	8.6	0.3						
C3Ca	135-165	21	22	56	8.5	0.2								
Unidad y tipo de vertisol														
Tala - Rodríguez (Vertisol rúptico típico)	Fase superficial	A1	0-13	15	48	37	6.8	5	32	6	1	0.5	39	86
		A2	13-30	13	40	47	6.9	3	36	7	1	1	45	94
		A3	30-50	12	46	42	7.1	2	37	8	1	1	47	99
		A4	50-85	12	44	44	7.9	2	38	8	1	2	50	100
	Fase profunda	AC1	85-105	12	47	41	8.5	1	35	8	1	3	48	100
		AC2	105-130	12	43	45	8.6	0.5	31	8	1	4	45	100
		CCa	>130	10	38	51	8.6	0	33	9	1	5	48	100
Unidad y tipo de vertisol														
La Carolina (Vertisol rúptico lúvico Fr)	Fase superficial	A1	0-15	32	32	36	7.7	7	33	2	0.8	0.6	36	100
		ACCa	15-25	24	34	43	8	3	30	2	0.5	0.5	33	100
		CCa	>25	25	31	43	8.3	1	21	6	0.5	0.8	28	100
	Fase profunda	A11	0-13	30	40	30	6.1	7	26	4	0.3	0.4	33	92
		A12	13-31	29	43	28	6.1	7	23	4	0.2	0.5	31	89
		B2	31-73	27	33	40	7.6	3	26	10	0.3	2.1	38	100
CCa	>73	27	25	47	8	0.2	17	9	0.6	3.2	30	100		

H: Horizonte

Espesor: en metros

Ar, L, Ac, MO: %

Ca, Mg, K, Na: meq/100g

## Algunas Reflexiones

Las descripciones de campo de los perfiles señalan netas diferencias entre los suelos desarrollados sobre limos cuaternarios y sobre rocas cristalinas, destacándose la existencia de gravilla desde muy escasa profundidad. En el caso de los Vertisoles desarrollados sobre rocas cristalinas merecen destacarse dos casos bien significativos:

a) Según Alvarez *et al.* (1976), el Brunosol Eutrítico asociado a Vertisoles en la Unidad Isla Mala presenta gravilla desde 0.30 m de profundidad y evoluciona sin contactos abruptos a una filita alterada a la profundidad de 1.30 m.

b) Brasesco y Sganga (1976) describen gravilla en la fase superficial del Vertisol Rúptico lúvico Fr de la Unidad La Carolina desde pocos centímetros de profundidad en un sondeo realizado en el Norte del Dpto. de San José (Cpx = 380.0, Cpy = 6250.0).

c) En el este y sureste de la zona de Pintado en el Dpto. de Florida (CPx = 457.8; CPy = 6256.6) aparecen manchas de 20 a 40 ha de Vertisoles Rúpticos identificables por fotointerpretación aunque algo desdibujados por el laboreo; en esas áreas, en varias oportunidades se han realizado sondeos con taladro edafológico y a pocos centímetros de profundidad, ha aparecido vermiculita abundante, mineral micáceo de brillo dorado, derivado de la biotita por meteorización jamás observado como componente de ningún limo cuaternario.

d) Los datos analíticos por su parte cuantifican algunas diferencias de comportamiento aunque el número de análisis es poco significativo:

- alto porcentaje de arena en los Vertisoles Rúpticos sobre rocas cristalinas (>20 %).
- bajo porcentaje de arena en los Vertisoles Hápticos sobre basaltos apoyando la idea de que el material parental está desprovisto de minerales resistentes a la meteorización (piroxenos + plagioclasas).
- elevado porcentaje de limo en todo el perfil del Vertisol Rúptico sobre limos cuaternarios (>40 %) mientras se ubica próximo al 20 % en los Vertisoles desarrollados sobre rocas cristalinas.

## CONCLUSIONES

El estudio de la distribución de las unidades cartográficas del Mapa de Reconocimiento de Suelos de Uruguay publicada a escala 1/1.000.000 que contiene Vertisoles como componente dominante o co-dominante y su correlación con el material geológico identificado en la zona según Bossi y Ferrando (2001) permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) La totalidad de unidades cartografiadas a escala 1/100.000 que contienen Vertisoles como componentes dominantes o asociados cubre un área de  $43.000 \pm 2.000$  km<sup>2</sup>, lo que representa un recurso natural de primera magnitud, que según Durán (1986) no ha sido estudiado al nivel que la importancia de estos suelos merecería.
- 2) La casi totalidad de los Vertisoles Hápticos se desarrolla sobre rocas basálticas del Grupo Arapey en las unidades Itapebí-Tres Arboles (12.700 km<sup>2</sup>), Curtina (73.000 km<sup>2</sup>) y otras menores.
- 3) Las únicas referencias a Vertisoles Hápticos fuera del área basáltica son las Unidades Palleros (500 km<sup>2</sup>) y Paso Coelho (450 km<sup>2</sup>), donde el aporte de hierro a los productos de meteorización generan nontronita; es probable que este mineral del grupo de las esmectitas no se expanda como una montmorillonita y no permita el desarrollo de doble perfil definido.
- 4) A la inversa salvo raras excepciones fuera del área basáltica referida, los Vertisoles son Rúpticos, desarrollando doble perfil y una morfología superficial de campo de oleada.
- 5) Esta correlación entre tipo de vertisol y material madre es tan elevada (93%) que no puede mantenerse desde un punto de vista naturalista una génesis independiente del sustrato geológico y obliga a descartar la hipótesis de un limo eólico alóctono como necesidad imperiosa para explicar la formación de Vertisoles.
- 6) Desde el punto de vista geológico, deberá revisarse el criterio fotogeológico hasta ahora aplicado de cartografiar Fm. Libertad en las áreas con Vertisoles Rúpticos, de ese modo las interpretaciones serán más cercanas a la realidad.
- 7) La correlación entre la Unidad Isla Mala compuesta por Brunosoles Eutríticos y Vertisoles Rúpticos y el Cinturón San José, integrado por prasinitas, pizarras, granodioritas y gabros es también muy importante; de los  $2.950 \pm 100$  km<sup>2</sup> que abarca la unidad Isla Mala,  $2.300 \pm 50$  km<sup>2</sup> se desarrolla sobre el Cinturón San José.
- 8) Otra correlación estrecha pero no cuantificable dada la escala de la información hoy disponible, se observa entre la Unidad La Carolina (Brunosoles Eutríticos y Vertisoles Rúpticos Lúvicos) y los metamorfitos profundos (gneisses y anfíbolitas) que se desarrollan en una escama tectónica al norte de una importante cabalgadura de rumbo general N60E reconocida desde la ciudad de Rosario en el W hasta el empalme de las rutas 7 y 41 en el este.
- 9) La estrecha relación entre unidades cartográficas de asociaciones de suelos conteniendo Vertisoles y tipo de roca, obliga a abordar el tema a menor escala (p.e.

1/100.000) con cartografía detalladas de ambos materiales y énfasis en geoquímica de superficie porque los tenores de oligoelementos de interés agrícola pueden ser muy diferentes y podrían conducir a recomendaciones de usos diferentes en estos suelos de tan alta fertilidad natural y C.I.C.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALTAMIRANO, A. & PUENTES, R. 1975. Mineralogía de arcillas de algunos Vertisoles y Molisoles del Uruguay. Com. Pers.
- ALVAREZ, C. & VELOZO, C. 1974. Contribución a la caracterización de suelos del área basáltica (alrededores de Laureles, departamento de Salto), primera aproximación. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Facultad de Agronomía.
- ALVAREZ, C.; MAY, H. & MOLFINO, J. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000. Vol. 3. perfil M13-1. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, p. 120-121.
- BOSSI, J. 1966. Geología del Uruguay, Montevideo. Uruguay, (Colección Ciencias N° 2). Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República.
- BOSSI, J. & FERRANDO, L.A. 2001. Carta Geológica del Uruguay, escala 1/500.000. versión 2.0. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay.
- BOSSI, J.; PIÑEYRO, D.; MUTTI, D. & Di MARCO, A. 1996. El cinturón San José: unidad clave del Terreno Piedra Alta en Uruguay. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica v1, p. 52-57; Buenos Aires. Argentina.
- BOSSI, J. & SCHIPILOV, A. 1998. Rocas Igneas Básicas del Uruguay. Montevideo. Uruguay, Facultad de Agronomía.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L. A.; FERNANDEZ, A.; ELIZALDE, G.; MORALES, H.; LEDESMA, J.; CARBALLO, E.; MEDINA, E.; FORD, I. & MONTAÑA, J. 1975. Carta Geológica del Uruguay. Escala 1/1.000.000. Editada por los Autores. Montevideo. Uruguay.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L. A.; MONTAÑA, J.; MORALES, H.; CAMPAL, N.; GANCIO, F.; PIÑEIRO, D.; SCHIPILOV, A. & SPRECMANN, P. 1998. Carta Geológica del Uruguay, escala 1/500.000. Geoeditores. Montevideo. Uruguay.
- BRASESCO, R. & SGANGA, J. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 perfil M24-1. v3, p. 132-133. Montevideo. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes.
- CARNELLI, J. & GUARINONI, C. 1976. Caracterización de suelos basálticos: segunda contribución. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Facultad de Agronomía.
- DA SILVA, H. 1967. Micromofologische studie van enkele gronden op pleistoceen material in het zuidwestern van Uruguay. MSc. Thesis. Universidad del Estado, Gante.
- DSF/MAP. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000. Montevideo. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes.
- DRIESSEN, P.; DECKERS, J.; SPAARGAREN, O. & NACHTERGAELE, F. 2001. FAO. World Soil Resources Reports 94. Roma.
- DUDAL, R. 1967. Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales. Cuadernos de fomento agropecuario, N° 83. Roma, FAO. p. 161.
- DUDAL, R. & ESWARAN, H. 1988. Distribution, properties and classification of Vertisol. In: L.P. Wilding and R. Puentes (ed.) Vertisols: Their Distribution, Properties, Classification and Management. Texas A&M University Printing Center, College Station, TX. p. 1-22.
- DURÁN, A. 1986. Los suelos del Uruguay. Montevideo. Edit. Agropecuaria Hemisferios Sur S.R.L. p. 398.
- DURÁN, A. 1998. Contenido y distribución geográfica de carbono orgánico en suelos del Uruguay. Agrociencia, Vol. II - N° 1. Fac. Agron.
- DURÁN, A. & CALIFRA, A. 2002. Mapa de contenido de carbono orgánico de los suelos del Uruguay y memoria explicativa en español e inglés. <http://www.fagro.edu.uy/suelos>.
- DURÁN, A.; CALIFRA, A. & MOLFINO, J.H. 2002. Mapa de suelos del Uruguay y memoria explicativa, con leyenda de suelos basada en la clasificación de suelos de EE.UU., Soil Taxonomy, versión 1999. <http://www.fagro.edu.uy/suelos>.
- ELLIOT, E. & MANFREDINI, A. 1988. Caracterización de un vertisol de la unidad "La Carolina" III. Propiedades químicas y mineralógicas. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Facultad de Agronomía. p.129
- FALCO, L.; DA SILVA, H. & SGANGA, J. (1976). Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000. perfil L27-4. v3, p. 236-237. Montevideo, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes.
- FAO-UNESCO. Soil Map of the World, digitized by ESRI (1997). Soil climate map, USDA-NRCS, Soil Survey Division, World Soil Resources, Washington D.C. <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/order.html>

- GARAT, I. 1991. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/100.000 - Hoja M-24 Guaycurú. Convenio Facultad de Agronomía, Facultad de Ciencias, Dirección Nacional de Minería y Geología. Montevideo. Uruguay.
- LAKER, M. 2003. Advances in the South African Soil Classification System. In: H. Eswaran, T. Rice, R. Ahrens & B. A. Stewart, Eds. Soil Classification – A Global Desk Reference. CRC Press, Boca Raton, FL. P. 201-220.
- MALDONADO, S.; BOSSI, J.; PIÑEYRO, D.; CINGOLANI, C. & SCHIPILOV, A. 2001. Macizo de Pintos – Terreno Piedra Alta (Florida). 3° Congreso Uruguayo de Geología y 11° Congreso Latinoamericano de Geología. Resúmenes ampliados – versión electrónica. Montevideo, Uruguay.
- MARCHESI, E. & DURÁN, A. 1969. Suelos del Uruguay. Montevideo. (Nuestra Tierra, v.19).
- MONTAÑA, J. & BOSSI, J. 1995. Geomorfología de los humedales de la cuenca de la Laguna Merín en el departamento de Rocha. Ed. Facultad de Agronomía, Cátedra de Geología, PROBIDES.
- PAZOS, J. 1981. Identificación de los minerales arcillosos de los suelos utilizados en un ensayo de dinámica de potasio. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Facultad de Agronomía.
- PEDRO, G. 1968. Distribution des principaux types d'alteration chimique à la surface du globe; Rev. Geog. Phys. Dyn. 10 (5) : 457-470.
- RIECKEN, F. F. 1959. Informe al Gobierno del Uruguay sobre Reconocimiento y Clasificación de Suelos. Roma, FAO.
- ROSSIGNOL, J. P. 1981. Étude de quelques sols développés sur basalte dans le nord de l'Uruguay. Essai de caractérisation du lessivage en milieu vertique. Thèse Docteur-Ingénieur en Sciences Agronomiques. École Nationale Supérieure Agronomiques de Rennes-Université de Rennes I.
- SGANGA, J. & BRASESCO, R. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1 :1.000.000. perfil M25-5. v3, p. 116-117. Montevideo, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd ed. Agric. Handbook N° 436, (U.S. Government Printing Office), Washington, D.C.