

# Desarrollo de un nuevo modelo geoedafológico sobre la génesis, propiedades y taxonomía de los Vertisoles y suelos vérticos de la Región Pampeana Argentina

Autor: Emiliano Miguel Bressan

---

Tesis doctoral UDC / Año 2023

Directores: Héctor José María Morrás

Marcos Lado Liñares

Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal**

**Tesis Doctoral**

Desarrollo de un nuevo modelo geoedafológico  
sobre la génesis, propiedades y taxonomía de  
los Vertisoles y suelos vérticos de la Región  
Pampeana Argentina

**Emiliano Miguel Bressan**

Mayo 2023

## **DEDICATORIA**

*A mi hijo León que su llegada a este mundo es el mejor ejemplo de que nada en la vida es fácil y que todo en ella se logra con mucha perseverancia, esfuerzo y fe en Dios.*

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, quisiera agradecer a mi director el Dr. Héctor J.M. Morrás por confiar en mí nuevamente para poder realizar el Doctorado y darme la oportunidad de seguir creciendo como profesional y como Jefe del Grupo de Mineralogía y Micromorfología de Suelos del Instituto de Suelos del INTA Castelar. Gracias a usted Héctor aprendí las cualidades y el esfuerzo que se requiere para ser un investigador para cualquier área de la ciencia en la Argentina. Debo agradecerle su total predisposición y consejos que me brindó durante la realización del Doctorado.*

*En segundo lugar, a la Universidad de La Coruña por darme la posibilidad de realizar mi Doctorado en tan prestigiosa casa de altos estudios de España.*

*En tercer lugar, a todo el personal del Instituto de Suelos del INTA Castelar por brindarme toda su infraestructura para poder realizar las determinaciones previstas para realización de mi Doctorado.*

*Y por último a mi mujer Yanina y mi hijo León por bancarme en los buenos y difíciles momentos que atravesé durante la realización de mi Doctorado.*

## RESUMEN

La Pampa Ondulada es una de las subregiones de la gran llanura pampeana y la más importante de la misma en cuanto a la producción agrícola. Los materiales parentales de los suelos son sedimentos loésicos cuaternarios, existiendo una marcada controversia respecto al origen y composición de los mismos. Hacia el este de la subregión los Argiudoles vérticos son dominantes, en tanto en el resto del área los Argiudoles típicos son los suelos zonales característicos. Según algunos autores, el carácter vértico de los Argiudoles se debe a la neoformación pedogénica de esmectitas. Por el contrario, según otros las arcillas esmectíticas serían heredadas, encontrándose ya en el material parental de estos suelos. Por otro lado, dado que el material de los Argiudoles típicos presenta también expansibilidad elevada, ciertas propiedades físicas utilizadas en la Taxonomía no resultan útiles para discriminar entre los dos subgrupos de Argiudoles de esta área. En ella se han distinguido dos niveles de sedimentarios superficiales. El inferior es un sedimento loessico esmectítico, cubierto por un depósito loessico illítico relativamente grueso. Nuevos estudios realizados han puesto en manifiesto la existencia de estructura diapíricas en el sedimento inferior que permanecían ocultas hasta la actualidad. Por lo tanto, ahora se puede considerar que los Vertisoles también fueron los suelos dominantes en esta región posteriormente enterrados por un loess grueso. En los períodos húmedos, las cimas de las laderas convexas se habrían erosionado parcialmente, dejando el material esmectítico subyacente más cerca de la superficie. En consecuencia, los molisoles actuales sobre el paisaje desarrollaron propiedades vérticas debido a la mezcla de materiales y en función de la mayor o menor proximidad a la paleosuperficie. Por lo tanto, estos Vertisoles pampeanos y Molisoles vérticos pueden considerarse poligenéticos y relacionados por diferentes grados de un mismo proceso de génesis.

## RESUMO

A Pampa Ondulada é unha das subrexións da gran chaira pampeana e a máis importante da mesma en canto á produción agrícola. Os materiais de partida dos solos son sedimentos loésicos cuaternarios, existindo unha marcada controversia respecto á orixe e composición dos mesmos. Cara ao leste da subrexión os Argiudoles vérticos son dominantes, en tanto no resto da área os Argiudoles típicos son os solos zonais característicos. Segundo algúns autores, o carácter vértico dos Argiudoles débese á neoformación edafoxénica de esmectitas. Pola contra, segundo outros as arxilas esmectíticas serían herdadas, atopándose xa no material parental destes solos. Doutra banda, dado que o material dos Argiudoles típicos presenta tamén expansibilidade elevada, certas propiedades físicas utilizadas na Taxonomía non resultan útiles para discriminar entre os dous subgrupos de Argiudoles desta área. Nela distinguíronse dous niveis de sedimentarios superficiais. O inferior é un sedimento loessico esmectítico, cuberto por un depósito loessico illítico relativamente grosso. Os novos estudos realizados puxeron de manifesto a existencia de estrutura diapíricas no sedimento inferior que permanecían ocultas até a actualidade. Por tanto, agora pódese considerar que os Vertisoles tamén foron os solos dominantes nesta rexión posteriormente enterrados por un loess grosso. Nos períodos húmidos, as cimas das ladeiras convexas haberíanse erosionado parcialmente, deixando o material esmectítico subxacente máis preto da superficie. En consecuencia, os molisoles actuais sobre a paisaxe desenvolveron propiedades vérticas debido á mestura de materiais e en función da maior ou menor proximidade á paleosuperficie. Por tanto, estes Vertisoles pampeanos e Molisoles vérticos poden considerarse polixenéticos e relacionados por diferentes graos dun mesmo proceso de xénese.

## SUMMARY

The Rolling Pampa is one of the subregions of the great pampas plain and the most important on agricultural production. The parent materials of the soils are Quaternary loessic sediments, and both their origin and composition are still a controversial subject. To the east of the subregion, the Vertic Argiudolls are dominant, while in the rest of the area the Typic Argiudolls are the characteristic zonal soils. According to some authors, the vertic properties of these Argiudolls are due to the pedogenic neoformation of smectites. On the contrary, according to others, smectitic clays would be inherited from their parent material. On the other hand, since the Typic Argiudolls also show high expansibility, certain physical properties used in the Taxonomy are not useful for discriminating between the two subgroups of Argiudolls in this area. In the Rolling Pampa two superficial sedimentary levels have been distinguished. The lower one is a smectitic loessic sediment, covered by a relatively thick illitic loessic deposit. New studies undertaken in large pit have revealed the existence of diapiric structures in the lower sediment, which remained hidden up to the present. Therefore, it can now be considered that Vertisols were also dominant soils here, later buried by the thick loess. In the humid periods, the summit of convex slopes would have been partly eroded, leaving the underlying smectitic material closer to the surface. Consequently, current Mollisols on top of the landscape developed vertic properties due to the mixing of materials and depending on the greater or lesser proximity to the paleosurface. Therefore, these pampean Vertisols and vertic Mollisols can be considered polygenetic and related by different degrees of a same process.

## ÍNDICE

---

1. Introducción.....	1
2. Hipótesis.....	5
3. Objetivos	
3. 1. Objetivo Principal.....	5
3.2. Objetivos Específicos.....	5
4. Materiales y Métodos	
4.1. Caracterización de los perfiles estudiados.....	7
4.2. Descripción de los perfiles estudiados.....	8
4.3. Determinaciones de laboratorio.....	23
4.4. Análisis Estadístico.....	32
5. Resultados y Discusión	
5.1. Resultados de los Análisis Granulométricos.....	33
5.2. Resultados de los Análisis Mineralógicos.....	37
5.3. Resultados de la Susceptibilidad Magnética.....	42
5.4. Resultados de los Análisis Químicos y Físico-Químicos.....	44
5.5. Resultados de la Retención de Agua.....	52
5.6. Resultados de la Porosidad.....	57
5.7. Resultados de Expansión y Contracción.....	61
6. Conclusiones	
6.1. Conclusiones en español.....	67
6.2. Conclusions.....	69

7. Bibliografía citada.....	71
8. Apéndice.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura N°1- Mapa de la Región Pampeana con sus subregiones con la localización de los perfiles que serán estudiados.....	8
Figura N°2- Cresta del Perfil de suelo descripto en las proximidades de La Paz (Pcia. De Entre Ríos).....	9
Figura N°3- Bajo del Perfil de suelo descripto en las proximidades de La Paz (Pcia. De Entre Ríos).....	11
Figura N°4- Cresta del Perfil de suelo descripto en las proximidades de Castelar (Pcia. de Buenos Aires).....	13
Figura N°5- Bajo del Perfil de suelo descripto en las proximidades de Castelar (Pcia. de Buenos Aires).....	16
Figura N°6- Cresta del Perfil de suelo descripto en las proximidades de Los Hornos (Pcia. De Buenos Aires) (Hapludert típico).....	18
Figura N°7- Bajo del Perfil de suelo descripto en las proximidades de Los Hornos (Pcia. De Buenos Aires).....	21
Figura N° 8- Variación del contenido de Arena (%) con la profundidad de los suelos estudiados.....	34
Figura N° 9- Variación del contenido de Limo (%) con la profundidad de los suelos estudiados.....	35

Figura N° 10- Variación del contenido de Arcilla (%) con la profundidad de los suelos estudiados.....	36
Figura N° 11 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1, BCkss y Ckss del sector del Bajo del perfil de La Paz.....	37
Figura N° 12 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, AC2kss, C1kss y C2kss del sector de la Cresta del perfil de La Paz.....	38
Figura N° 13 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Btss2, BC1 y 2Ck del sector del Bajo del perfil de La Plata.....	39
Figura N° 14 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1, BC y BC2 del sector de la Cresta del perfil de La Plata.....	40
Figura N° 15 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1ss, 2Btss2 y 2Btk2 del sector del Bajo del perfil de Castelar.....	41
Figura N° 16 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1ss, 2BC y 3Btk del sector de la Cresta del perfil de Castelar.....	42
Figura N° 17 - Variación de la Susceptibilidad Magnética en baja frecuencia (kHz) con la profundidad de los suelos analizados.....	43
Figura N° 18 - Variación del contenido de Carbono Orgánico (%) con la profundidad de los suelos estudiados.....	45

Figura N° 19- Variación del contenido de Fósforo extractable ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) con la profundidad en los suelos estudiados.....	48
Figura N° 20- Variación del contenido de Potasio de intercambio ( $\text{cmol/Kg}$ ) con la profundidad de los suelos estudiados.....	49
Figura N° 21- Variación del pH con la profundidad de los suelos estudiados.....	50
Figura N° 22- Variación del CIC Total ( $\text{cmol Kg}^{-1}$ ) con la profundidad de los suelos estudiados.....	51
Figura N° 23 -Variación del contenido de agua de saturación (%) con la profundidad de los suelos estudiados.....	52
Figura N° 24 - Variación de la humedad equivalente (HEq) con la profundidad de los suelos estudiados.....	53
Figura N° 25 - Variación de la capacidad de campo (CC) con la profundidad de los suelos estudiados.....	54
Figura N° 26- Variación del punto de marchitez permanente (PMP) con la profundidad de los suelos estudiados.....	55
Figura N° 27- Variación del la densidad aparente (Dap) con la profundidad de los perfiles de estudiados.....	58
Figura N° 28 -Variación de la porosidad total con la profundidad en los suelos estudiados.....	58
Figura N° 29- Variación del porcentaje de macroporos con la profundidad de los suelos estudiados.....	59
Figura N° 30 - Variación del porcentaje de mesoporos con la profundidad de los suelos estudiados.....	61

Figura N° 31 - Variación del porcentaje de microporos con la profundidad de los suelos estudiados.....	62
Figura N° 32- Variación del COLE con la profundidad de los suelos estudiados.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla N° 1- Espacio interfoliar en Å de reflexiones basales en pequeños ángulos (2°-15° 2θ/min) Fuente: Robert, 1975; Brindley & Brown, 1980.....	24
Tabla N° 2 - Clasificación de poros por tamaño y función.....	29
Tabla N° 3 - Capacidad de expansión-contracción citada por Thomas <i>et al.</i> 2000.....	31
Tabla N° 4 – Porcentaje de macroporos en los horizontes de los suelos estudiados.....	60
Tabla N° 5 – Porcentaje de mesoporos en los horizontes de los suelos estudiados.....	61
Tabla N° 6 – Porcentaje de microporos en los horizontes de los suelos estudiados.....	62
Tabla N° 7 - Variación del COLE con la profundidad de los distintos horizontes del bajo y de la cresta del perfil de Los Hornos y su respectiva clasificación según Soil Survey Staff (1997) (citado por Thomas <i>et al.</i> 2000).....	63
Tabla N° 8 - Variación del COLE con la profundidad de los distintos horizontes del bajo y de la cresta del perfil de Castelar y su respectiva clasificación según Soil Survey Staff (1997) (citado por Thomas <i>et al.</i> 2000).....	64
Tabla N° 9 - Variación del COLE con la profundidad de los distintos horizontes del bajo y de la cresta del perfil de La Paz y su respectiva clasificación según Soil Survey Staff (1997) (citado por Thomas <i>et al.</i> 2000).....	65
Tabla N° 10 - Valores de Extensibilidad Lineal del bajo y de la cresta de los perfiles de Los Hornos, Castelar y La Paz.....	66

## APENDICES

---

Análisis Granulométricos.....	89
Análisis de Susceptibilidad Magnética.....	91
Análisis Químicos y Físico-Químicos.....	92
Análisis de Retención de Agua.....	93
Análisis de Porosidad.....	95

## ABREVIATURAS

---

E: esméctica

I/E: illita esmectita

I: illita

C: caolinita

SM: susceptibilidad magnética

LF: baja frecuencia

CIC: capacidad de intercambio catiónico

Ki: potasio intercambiable

P: fósforo extractable

CO: carbono orgánico

HEq: humedad equivalente

Dap: densidad aparente

PT: porosidad total

PMP: punto de marchitez permanente

CC: capacidad de campo

COLE: coeficiente de extensibilidad lineal

EL: extensibilidad lineal

# 1.INTRODUCCIÓN

La región pampeana de la Argentina es una gran llanura sedimentaria en cuya superficie se presentan loess primarios y secundarios depositados desde el Pleistoceno Temprano hasta el Holoceno Medio y Reciente (Zárate 2005). Tanto el origen como la composición de estos sedimentos loessicos son todavía temas controvertidos. Existe consenso en que las principales áreas de origen para la mayor parte de los depósitos son las rocas andesíticas y basálticas del norte de la Patagonia y la Cordillera de los Andes (Teruggi 1957). Varios autores propusieron además una primera etapa de transporte fluvial de sedimentos que posteriormente fueron deflacionados a partir de los depósitos de llanuras aluviales que bordean la Región Pampeana. (Zárate & Blasi 1993; Iriondo 1990; Iriondo & Kröhling 1996). En cualquier caso, el transporte eólico promovió la clasificación granulométrica de los sedimentos, lo que resultó en una disminución del tamaño del grano desde el sudoeste al noreste de la Región Pampeana. Siguiendo este criterio de una fuente principal de aportes andinos, se ha considerado generalmente que los sedimentos pampeanos son mineralógicamente homogéneos, a excepción de los contenidos variables de vidrio volcánico (Fidalgo et al. 1975; Imbellone & Teruggi, 1993; Sayago et al. 2001). Varios autores han informado que el mineral de arcilla dominante en los sedimentos y suelos superficiales de la Región Pampeana es illita, lo que también sería el caso de los sedimentos y suelos en la región del Chaco (González Bonorino 1965,1966; Scoppa 1976; Camilión 1993; Iriondo & Kröhling 1996).

La Pampa Ondulada es una de las subregiones de la llanura pampeana, hacia el NE de la misma, constituida por una franja de unos 100 km de ancho que bordea los ríos Paraná y del Plata. Esta constituye el sector más importante de la Pampa desde el punto

de vista de la producción agrícola, tanto por la calidad de sus suelos como por sus condiciones climáticas favorables, de tipo templado-húmedo. Estudios granulométricos de los sedimentos loésicos superficiales de esta subregión pusieron en evidencia un incremento de la fracción arcilla en los sedimentos más próximos al eje fluvial río Paraná- río de la Plata (Iñiguez y Scoppa, 1970; Morrás y Cruzate, 2000). En este sector los Argiudoles vérticos son dominantes, particularmente en los interfluvios y sectores altos de las pendientes. Por el contrario, en los niveles intermedios de este sector y en el resto de la Pampa Ondulada los Argiudoles típicos son los suelos zonales característicos.

En relación con la mineralogía, Iñiguez & Scoppa (1970) y Scoppa (1974) identificaron variaciones mineralógicas de la arcilla con un incremento progresivo de esmectitas hacia el río Paraná. Dado que los autores asumieron un origen común y una composición homogénea del material parental, consideraron que los cambios mineralógicos solo podían explicarse por el proceso de meteorización, y que el mayor contenido de esmectita en los suelos vérticos ubicados hacia el NE, sería el resultado de una neoformación más intensa en materiales parentales de un tamaño de grano más fino. Sin embargo, estos autores no proporcionaron una explicación sobre la yuxtaposición de Argiudoles vérticos y típicos en este sector vecino al eje fluvial.

No obstante, estos conceptos tradicionales sobre el origen y composición de los loess y suelos pampeanos, otros estudios sobre la mineralogía de las fracciones arena y limo de los sedimentos y de los suelos del norte de la Pampa y el sur del Chaco revelaron, además de los componentes de origen andino, evidentes contribuciones de las Sierras Pampeanas del centro de la Argentina. También, contribuciones desde la cuenca del río Paraná fueron identificados en el sector oriental de la Pampa y del Chaco (González Bonorino, 1965; 1966; Morrás y Delaune, 1985; Morrás, 2003; Etchichury y Tofalo, 2004). Estudios geoquímicos de fósforo y potasio en la masa total y en fracciones

granulométricas específicas de suelos y sedimentos superficiales, permitieron diferenciar diversas áreas en la Pampa y en el sur del Chaco sobre la base de los contenidos diferenciales de estos elementos. Todos estos resultados permiten inferir que en la Pampa y en el Chaco han convergido sedimentos de los Andes, de las Sierras Pampeanas y de la cuenca del Paraná, además de aportes locales de las Sierras pampeanas de Ventania y Tandilia (Morrás, 1996; 1999; Morrás y Cruzate, 2002).

También, a pesar de las interpretaciones que adjudican un origen pedogenético a la arcilla esmectita en los materiales superficiales del NE de la Pampa Ondulada, otros estudios mineralógicos de la fracción arcilla en suelos del norte de la Región Pampeana (Stephan et al. 1977) y del sur del Chaco (Morrás et al. 1980, 1982; 2017) constataron un incremento progresivo de esmectita hacia el este de la región que puede estar relacionado con las contribuciones minerales de la cuenca de Paraná. También, en la parte más oriental de la Región Pampeana llamada Pampa Mesopotámica, se han desarrollado Vertisoles en sedimentos lacustres del Cuaternario temprano ricos en esmectitas (González Bonorino 1966; Iriondo 1994; Morrás et al. 1993; Durán et al. 2011; Morrás, 2018). Los sedimentos fluviales y los suelos presentes en el valle del río Paraná (Morrás, 1998) así como en los sedimentos estuáricos holocénicos y suelos en la costa de Río de la Plata (González Bonorino 1966; Imbellone et al. 2010) también son ricos en esmectitas.

Así, el paradigma tradicional de “unicidad y uniformidad” sobre los depósitos de loess como base sobre la cual se asientan la mayoría de las investigaciones sobre suelos de la Región Pampeana, parece ser insuficiente para explicar algunos aspectos de la génesis y distribución de suelos de dicha región, particularmente en el marco de nuevos estudios revelando una composición mineralógica heterogénea en las planicies de la llanura Chaco-Pampeana (Morrás 1997; 2003; Zárate 2003; Durán et al. 2011). En esta perspectiva, y a partir de estudios muy detallados en una pequeña cuenca de la Pampa

Ondulada, Morrás y Moretti (2016) concluyen que la franja con Argiudoles vérticos dominantes y algunos Vertisoles que bordea el eje fluvial Paraná-de la Plata, en vez de ser interpretada como una modificación pedogenética de materiales andinos del sudoeste, podría considerarse como el margen occidental de un área que incluye la Pampa Mesopotámica y una gran parte de Uruguay donde los suelos vérticos se desarrollaron sobre sedimentos de arcilla esmectítica de varias fuentes encontradas en la cuenca del Paraná.

Por otro lado, estudios recientes sobre diversas propiedades físicas, químicas y mineralógicas de Argiudoles típicos y vérticos de la Pampa Ondulada pusieron de relieve en algunos casos ciertas inconsistencias respecto a su clasificación taxonómica (Bressan et al., 2012; 2014). La expansión y contracción de las arcillas son responsables de los procesos de estructuración abióticos y eventualmente, si la expansión es importante, de la generación de rasgos vérticos en los suelos. Este comportamiento vértico no sucede únicamente con la predominancia de minerales esmectíticos, dado que se puede generar a partir de la presencia de tan solo un 20 % de filosilicatos expandibles en la fracción arcilla del suelo (Imbellone *et al.*, 2010).

Diversos tipos de criterios de campo y ensayos analíticos se emplean para evaluar la expansibilidad de los materiales de suelo. Para definir los subgrupos vérticos dentro de los Argiudoles, la Taxonomía de Suelos (USDA, 2010) ha considerado dos criterios alternativos, cada uno de ellos como suficiente: 1) grietas y caras de fricción o agregados en forma de cuña, y/o: 2) una extensibilidad lineal de 6.0 cm o más entre la superficie del suelo mineral y una profundidad de 100 cm. Sin embargo, algunos Argiudoles típicos de la Pampa Ondulada, cuya morfología no refleja condiciones vérticas presentan valores elevados tanto de Extensibilidad lineal como del Índice plástico, que justificarían su clasificación dentro de un subgrupo vértico, y que no se diferencian o aún son menores al

de otros suelos sí clasificados como Argiudoles vérticos. En consecuencia, esta propiedad no pareciera ser un parámetro adecuado o suficiente para discriminar y establecer la pertenencia de estos Argiudoles pampeanos a subgrupos típicos o vérticos.

En la Pampa Ondulada Alta, en la margen derecha del río Paraná, y en una franja de unos 60 km de ancho a lo largo del eje fluvial, en la parte alta de las lomas se presentan Argiudoles vérticos mientras que en las pendientes los suelos dominantes son Argiudoles típicos, evidenciando una secuencia catenaria inversa a la usual en muchos ambientes. En esta franja se presentan sedimentos loessicos esmectíticos (asignables a la Formación Buenos Aires) que habrían sido eolizados de las llanuras aluviales del río Paraná, entre otras fuentes al este. Estudios recientes han puesto de manifiesto la existencia de estructuras diapíricas en este material, lo que sugiere que, al igual que en la Pampa Mesopotámica, los Vertisoles también habrían sido aquí los suelos dominantes durante un período prolongado en el Pleistoceno. Posteriormente, en el Pleistoceno Superior el paisaje fue cubierto por un loess illítico relativamente espeso, originado en fuentes del oeste.

Finalmente, a lo largo de los períodos húmedos del Holoceno, las crestas y tramo superior de las pendientes fueron parcialmente erosionadas. A diferencia de lo ocurrido en la Pampa Mesopotámica y de la Pampa Ondulada Baja, debido al mayor espesor del sedimento loessico superficial estos Vertisoles de la Pampa Ondulada Alta quedaron como paleosuelos enterrados. Como resultado, hoy se encuentra en la parte superior del relieve una yuxtaposición de suelos vérticos con diferentes características y profundidades del solum. Sus propiedades, que corresponderían a las de suelos poligénicos, serían dependientes del sector (“bajo” o “cresta”) del Vertisol “oculto” en el que se hayan desarrollado.

## 2.HIPÓTESIS

### Hipótesis

- **H1-** *Los Vertisoles eran los suelos dominantes en la Pampa Ondulada pero luego fueron recubiertos por un loess illítico más espeso*
- **H2-** *Los suelos vérticos de la Pampa Ondulada son suelos poligenéticos*

## 3.OBJETIVOS

### Objetivos

Teniendo en cuenta los conceptos desarrollados con anterioridad, el objetivo de este trabajo es:

#### 3.1-Objetivo principal:

Desarrollar un nuevo modelo geodafológico que explique la génesis y propiedades físicas de los Vertisoles y suelos vérticos del NE de la Región Pampeana de la Argentina, evaluando criterios analíticos adecuados para su clasificación taxonómica

#### 3.2-Objetivos específicos:

a- . Determinar la composición mineralógica de la fracción fina y de la fracción magnética de Vertisoles y suelos verticos seleccionados del noreste de la Región Pampeana

b-. Establecer la relación existente entre la composición mineralógica y las propiedades morfológicas, físicas y físico-químicas de los Vertisoles y suelos verticos seleccionados

c-. Estudiar la relación existente entre los materiales parentales, la distribución geográfica y los procesos de génesis de Vertisoles y suelos verticos del noreste de la Región Pampeana

d-. Evaluar parámetros físicos y físico-químicos para la caracterización y clasificación apropiada de los suelos con propiedades vérticas de la Pampa Ondulada

## 4.MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Caracterización de los perfiles estudiados

Para llevar a cabo estos objetivos se seleccionaron tres perfiles de suelos con propiedades vérticas del noreste de la Región Pampeana de la Argentina uno de ellos clasificado por la Soil Taxonomy como un Vertisol (Hapludert típico) localizado en cercanías de la ciudad de La Paz ( $30^{\circ}41'26.582''S$   $59^{\circ}25'57.94''O$ ) en la Provincia de Entre Ríos ubicado en la Pampa Mesopotámica. Los dos restantes suelos ambos clasificados como Argiudoles vérticos se sitúan uno en las cercanías de Los Hornos Partido de La Plata ( $34^{\circ}59'18.27''S$   $57^{\circ}59'33.19''O$ ) y el otro en las cercanías de Hurlingham ( $34^{\circ}59'18.27''S$   $57^{\circ}59'33.19''O$ ) Partido de Hurlingham ambos ubicados en la Provincia de Buenos Aires. El vertisol seleccionado de la Provincia de Entre Ríos servirá como referencia en cuanto a sus características composicionales y propiedades de comportamiento de este tipo de suelos.

La zona donde se ubica el perfil estudiado de la Provincia de Entre Ríos presenta precipitaciones medias anuales que varían entre 1200 y 1300 mm, con mayor incidencia en los meses de verano y menor en el invierno, en tanto la temperatura media anual varía entre 17 y 20 °C. Desde el punto de vista de la Taxonomía de Suelos (Keys of Soil Taxonomy, 2010) para la zona corresponden un un régimen de humedad Udico y un régimen de temperatura Térmico (Van Wambeke & Scoppa, 1976).

En cambio, la zona donde se ubican los 2 perfiles estudiados de la Provincia de Buenos Aires presenta precipitaciones medias anuales que varían entre 900 y 1100 mm, con mayor incidencia en los meses de verano y menor en el invierno, en tanto la temperatura media anual varía entre 14 y 17 °C.

Desde el punto de vista de la Taxonomía de Suelos (Keys of Soil Taxonomy, 2010) las dos zonas donde se encuentran los perfiles estudiados corresponden un régimen de humedad Udico y un régimen de temperatura Térmico (Van Wambeke & Scoppa, 1976).

La localización aproximada de los perfiles a estudiar se representa en la Figura N° 1.

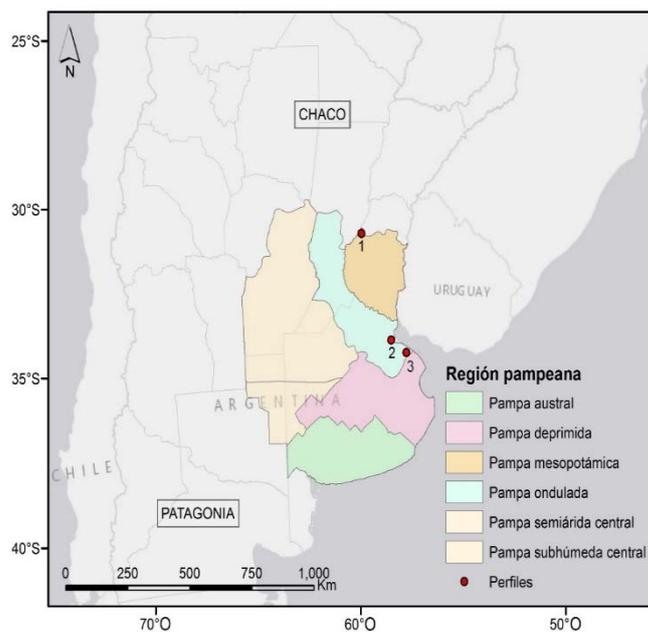


Figura N°1- Mapa de la Región Pampeana con sus subregiones con la localización de los perfiles que serán estudiados (adaptado de Viglizzio et al. 2002).

#### 4.2 Descripción de los suelos estudiados

En los tres perfiles seleccionados se encontró estructura diapírica observándose claramente dos sectores: bajo y cresta.

A continuación, se presenta la descripción de campo efectuada de cada uno de los perfiles estudiados según las normas del "Libro de Campaña para la descripción y muestro de suelos" (Schoeneberger *et al.*, 2002).

## Cresta Peludert árgico (La Paz)



Figura N°2- Cresta del Perfil de suelo descrito en las proximidades de La Paz (Pcia. De Entre Ríos)

### **CRESTA**

**A1** 0-12 cm. Color 10YR 2/2 (en húmedo). Bloques subangulares, muy irregulares, gruesos (20-30 mm). Grietas existentes pero cerradas, que continúan y se expresan en AC1. Raíces frecuentes.

**AC1kss** 12-42 cm. Color 10 YR 2/2 (en húmedo). Bloques subangulares irregulares con tendencia a redondeados, moderados. Horizonte con máxima expresión de grietas, de 1-2 cm de ancho, comunes, separadas en general unos 20 cm o menos entre sí (la separación es menor que en el bajo). Algunas grietas se relacionan entre si en diagonal, generando estructuras

grandes en cuña. Slickensides grandes (de unos 3 cm) comunes. Nódulos de Fe-Mn, de 1-2 mm de diámetro. Nódulos de carbonato de calcio, de aprox. 1 cm de diam., redondeados, comunes; también nódulos pequeños de 1-2 mm. Raíces escasas.

**AC2kss** 42-73 cm. Color 10 YR 2/3 (en húmedo). Slickensides medianos, comunes. Nódulos de carbonato de calcio similares al horizonte AC1kss. Raíces ocasionales.

**C1kss** 73-91 cm. Color 10YR 3/2 (en húmedo). Bloques subangulares grandes (diámetro medio 3 cm). Slickensides medianos y pequeños, comunes. Nódulos de carbonato de calcio similares a AC1kss. Raíces ocasionales.

**C2k** 91 – 106+ cm (piso). Color 10YR3/3. Nódulos de carbonato de calcio similares a AC1kss.

## Bajo Peludert árgico (La Paz)

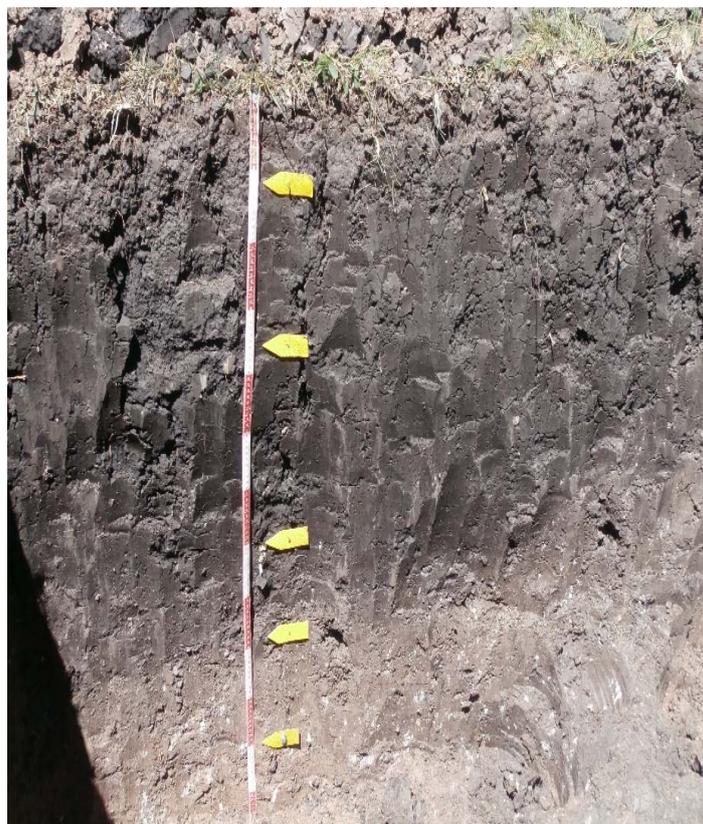


Figura N°3- Bajo del Perfil de suelo descrito en las proximidades de La Paz (Pcia. De Entre Ríos)

### **BAJO**

**A1** 0-12 cm. Color 10YR 2/2 (en húmedo). Bloques subangulares a angulares medios (diam. medio 20 mm) y subangulares gruesos (20-30 mm). Grietas existentes pero cerradas, que continúan y se expresan en Bt1. Raíces frecuentes

**B1** 12-36 cm. Color 10YR 1,7/1 – 5YR 1,7/1 (en húmedo). Prismas gruesos (tamaño aprox. 120 x 50 mm) que rompen en bloques gruesos subangulares con tendencia a angulares. Superficie de los agregados de aspecto rugoso. Barnices ocasionales que se presentan sobre todo en caras

horizontales de los agregados. Slickensides pequeños, ocasionales  
Horizonte con máxima expresión de grietas, de 1-2 cm de ancho, comunes,  
separadas en general unos 20 -30 cm entre sí, que llegan a 50 o 70 cm de  
profundidad. Raíces frecuentes.

**Bt2** 36-71 cm. Color 7,5 YR 2/1 (en húmedo). Prismas grandes, con caras  
rugosas, que rompen en bloques subangulares grandes (diam. aprox., 8 cm)  
irregulares. Barnices raros, de unos 2 cm. Grietas de 1-2 cm de ancho,  
comunes, que llegan a 50 o 70 cm de profundidad Raíces comunes.

**Btkss** 71-88 cm. Color 10 YR 2/1-2/2 (en húmedo). Bloques gruesos (de unos 4  
cm de diam.) subangulares a angulares, de superficie rugosa. Slickensides  
de unos 2-3 cm. Nódulos pequeños de carbonato de calcio, diámetro 2-3  
mm, blandos, ocasionales. Raíces ocasionales; algunas raíces, finas,  
aplastadas en fisuras.

**BCkss** 88-109 cm. Color 10 YR 3/3. Bloques irregulares, grandes (diámetro 3  
cm). Nódulos de carbonato de calcio, diámetro medio 1 cm, irregulares.  
Slickensides enormes (tamaño aprox. 10 cm), superpuestos (foto).

**Ckss** 109-126+ cm (piso). Color 10 YR 4/4 (en húmedo). Bloques subagulares  
gruesos (diámetro 2-3 cm). Slickensides pequeños, comunes y slickensides  
muy grandes (de unos 5 cm) superpuestos. Nódulos de carbonato de calcio,

de tamaño variado, entre 2 y 10 mm, irregulares. Cristales de yeso, ocasionales.

#### Cresta Argiudol vértico (Castelar)



Figura N°4- Cresta del Perfil de suelo descrito en las proximidades de Castelar (Pcia. de Buenos Aires)

#### **CRESTA**

**Ap** 0-18 cm; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco limoso; estructura en bloques angulares medios moderados que rompe a granular; duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo en mojado; raíces abundantes; límite claro, suave.

- A** 18-26 cm; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco limoso; estructura en bloques angulares medios moderados; duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo en mojado; raíces abundantes; límite claro, suave.
- Bt** 26-57 cm; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco; gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en prismas gruesos que rompen a bloques angulares medios fuertes; muy duro en seco; friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; barnices muy abundantes; se observan chorreaduras de materia orgánica; raíces comunes; límite claro, ondulado.
- Btss1** 57-82 cm; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2) en seco; pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; franco arcilloso; estructura en prismas gruesos que rompen a bloques angulares medios fuertes, algunos de ellos de morfología cuneiforme; muy duro en seco; friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; barnices muy abundantes; presencia de slickensides; raíces comunes; límite claro, ondulado.
- Btss2** 82-106 cm; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2) en seco; pardo oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo; franco arcilloso; estructura en prismas débiles que rompen a bloques angulares medios moderados, algunos de ellos de morfología cuneiforme; muy duro en seco; friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; débil reacción de los carbonatos libres en la masa en la base del

horizonte; barnices muy abundantes; presencia de slickensides; raíces escasas; límite claro, ondulado.

**2Btssk** 106-145 cm; pardo (7.5YR 5/4) en seco; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en prismas débiles que rompen a bloques angulares medios moderados, algunos de ellos de morfología cuneiforme; duro en seco; friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; fuerte reacción de los carbonatos libres en la masa; presencia de concreciones calcáreas y de rizoconcreciones de 20 mm de diámetro; barnices abundantes; presencia de slickensides; límite claro, ondulado.

**2BCk** 145-190 cm; pardo claro (7.5YR 6/4) en seco; pardo (7.5YR 5/4) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en bloques angulares medios débiles; duro en seco; muy friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; fuerte reacción de los carbonatos libres en la masa; presencia de concreciones calcáreas y de muñequitas de hasta 40 mm de largo y 20 mm de ancho; moteados ver; límite claro, ondulado.

**3Btk** 190-280 cm; gris claro (2.5Y 7/2) en seco; pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2) en húmedo; franco arcilloso; estructura en bloques angulares medios débiles; ligeramente duro a blando en seco; muy friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; débil reacción de los carbonatos libres en la masa; presencia de concreciones calcáreas de diámetro; escasos barnices.

## Bajo Argiudol vértico (Castelar)



Figura N°5- Bajo del Perfil de suelo descrito en las proximidades de Castelar (Pcia. de Buenos Aires).

### **BAJO**

**Ap** 0-15 cm; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en bloques subangulares medios moderados; ligeramente duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo en mojado; raíces abundantes; límite claro, suave.

**A** 15-22 cm; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en bloques angulares medios moderados; duro en seco; friable en húmedo; ligeramente

plástico y ligeramente adhesivo en mojado; raíces comunes; límite claro, suave.

**Bt** 22-57 cm; pardo oscuro (10YR 3/3) en seco; gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; franco arcilloso; estructura en bloques angulares medios fuertes; muy duro en seco; friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; barnices abundantes; raíces comunes; límite claro, ondulado.

**Btss1** 57-80 cm; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2) en seco; pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; franco arcilloso; estructura en prismas medios que rompen a bloques angulares medios moderados, algunos de ellos de morfología cuneiforme; muy duro en seco; friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; barnices muy abundantes; presencia de slickensides; raíces comunes; límite claro, ondulado.

**2Btss2** 80-120 cm; pardo (7.5YR 5/4) en seco; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; franco arcilloso; estructura en prismas medios que rompen a bloques angulares medios moderados, algunos de ellos de morfología cuneiforme; muy duro en seco; friable en húmedo; plástico y adhesivo en mojado; débil reacción de los carbonatos libres en la masa en la base del horizonte; barnices muy abundantes; presencia de slickensides; raíces escasas; límite claro, ondulado.

**2Btk1** 120-150 cm; pardo (7.5YR 5/4) en seco; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en bloques angulares medios débiles; ligeramente duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo en mojado; fuerte reacción de los carbonatos libres en la masa; presencia de concreciones calcáreas; raíces escasas; límite claro, ondulado.

**2Btk2** 150-248 cm; pardo claro (7.5YR 6/4) en seco; pardo (7.5YR 5/4) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura prismas débiles que rompen a bloques angulares débiles; friable en húmedo; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo en mojado; débil reacción de los carbonatos libres en la masa; presencia de concreciones calcáreas; escasos barnices; moteados.

#### Cresta Argiudol vértico (Los Hornos)

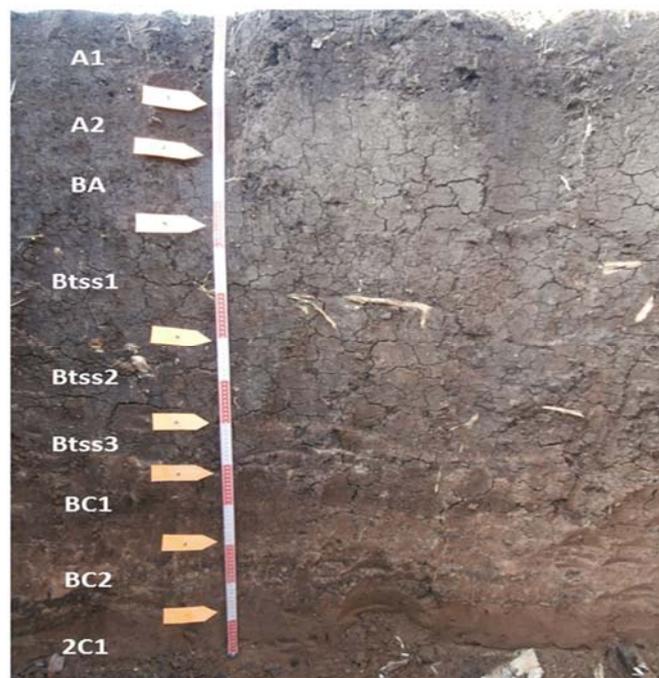


Figura N°6- Cresta del Perfil de suelo descrito en las proximidades de Los Hornos (Pcia. De Buenos Aires) (Hapludert típico)

- A1 0 -19 cm.** Color en húmedo 10YR2/3 -7.5 YR 2/3. Estructura en bloques subangulares gruesos (2-3 cm de diámetro), fuerte, que rompen en bloques medianos. Friable en húmedo, muy duro en seco. Raíces muy frecuentes, finas y medianas, de diámetro que varía entre 1-4 mm; algunas lombrices. Límite claro, plano
- A2 19-30 cm.** Color en húmedo 10YR 2/2 -7.5YR 2/2. Estructura en bloques subangulares gruesos (4-5 cm de diámetro). Consistencia firme en húmedo. Raíces frecuentes (algo menos que en A1); lombrices. Límite claro, plano
- BA 30-46 cm.** Color en húmedo 10YR 2/2. Estructura en prismas medianos, moderado, que rompen en bloques angulares gruesos ( tamaño 2 x 3 cm). Muy duro en seco. Barnices, sobre todo en cara superior de los agregados. Raíces comunes y raicillas aplastadas en las caras de los agregados; lombrices. Límite claro, suavemente ondulado
- Btss1 46-70 cm.** Color en húmedo 10YR 2/3 – 7.5YR 2/3. La estructura predominante es de bloques angulares gruesos (3-5 cm de diámetro), fuertes, que rompen en bloques medianos. También se aprecian algunos prismas medianos. Muy duro en seco. Barnices, comunes. Caras de deslizamiento ocasionales. Muy duro en seco. Límite claro, suavemente ondulado
- Btss2 70-90 cm.** Color en húmedo 7.5YR 3/3.La estructura dominante es de bloques angulares gruesos (3 cm de alto x 5 de ancho), fuerte. Barnices arcillo-húmicos

frecuentes. Caras de deslizamiento ocasionales. Muy duro en seco. Raíces comunes; muchas raicillas aplastadas en fisuras. Límite claro, suavemente ondulado

**Btss3 90-102 cm.** Color en húmedo 7.5YR 3/4. Estructura en bloques angulares grandes (3-5 cm de diámetro), que rompen fácilmente en bloques angulares medianos (1-2 cm). Barnices arcillo-húmicos comunes. Caras de deslizamiento ocasionales. La matriz es más clara que los horizontes superiores, el material es moteado, transicional hacia los horizontes inferiores. Raíces abundantes. Límite del horizonte ondulado.

**BC1 102-120 cm.** Color en húmedo 5YR 3/4-3/6. Moteados oscuros de materia orgánica humificada. Estructura en bloques subangulares, gruesos, irregulares. Barnices finos, comunes. Raíces comunes a ocasionales. Límite ondulado.

**BC2 120-138 cm.** Color en húmedo 5YR 4/6- 5/6. Moteados oscuros de materia orgánica humificada, abundantes, con disposición preferentemente horizontal, particularmente en el contacto con el horizonte subyacente. Bloques débiles a masivo. Límite abrupto, plano.

**2Ck 138-150+ cm.** Color en húmedo 5YR 3/4. Masivo. Nódulos de CO<sub>3</sub>Ca, esferoidales, de 1.5-2 cm de diámetro. Nodulitos de Mn, raros.

### Bajo Argiudol vértico (Los Hornos)

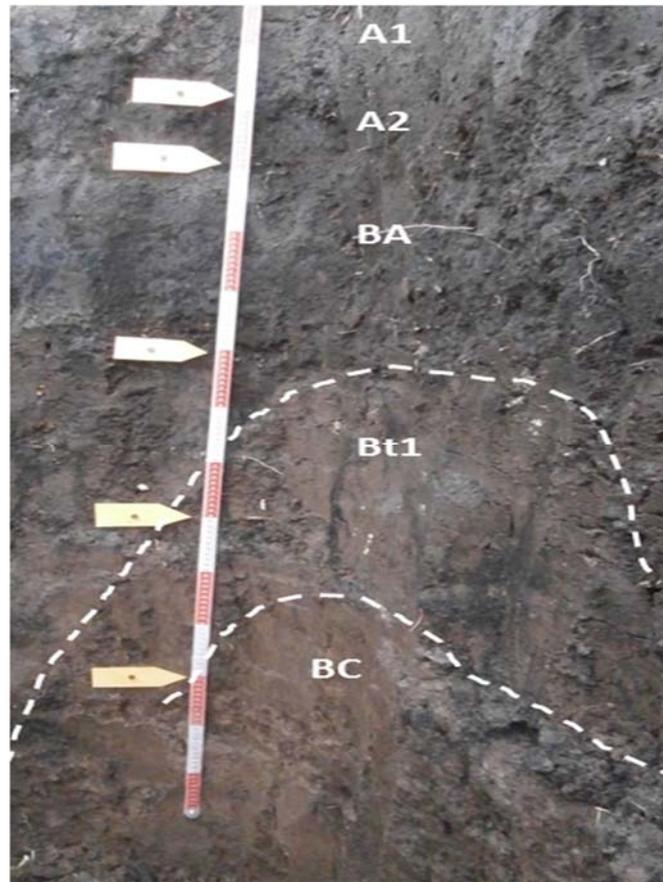


Figura N°7- Bajo del Perfil de suelo descrito en las proximidades de Los Hornos (Pcia. De Buenos Aires)

**A1** 0 -18 cm. Color en húmedo 10YR2/3 -7.5 YR 2/3. Estructura en bloques subangulares gruesos (2-3 cm de diámetro), fuerte, que rompen en bloques medianos. Friable en húmedo, muy duro en seco. Raíces muy frecuentes, finas y medianas, de diámetro que varía entre 1-4 mm; algunas lombrices. Límite claro, plano

- A2 18-28 cm.** Color en húmedo 10YR 2/2 -7.5YR 2/2. Estructura en bloques subangulares gruesos (4-5 cm de diámetro). Consistencia firme en húmedo. Raíces frecuentes (algo menos que en A1); lombrices. Límite claro, plano
- BA 28-60 cm.** Color en húmedo 10YR 2/2. Estructura en prismas medianos, moderado, que rompen en bloques angulares gruesos ( tamaño 2 x 3 cm). Muy duro en seco. Barnices, sobre todo en cara superior de los agregados. Raíces comunes y raicillas aplastadas en las caras de los agregados; lombrices. Límite claro, suavemente ondulado
- Btss1 60-90 cm.** Color en húmedo 10YR 2/3 – 7.5YR 2/3. La estructura predominante es de bloques angulares gruesos (3-5 cm de diámetro), fuertes, que rompen en bloques medianos. También se aprecian algunos prismas medianos. Muy duro en seco. Barnices, comunes. Caras de deslizamiento ocasionales. Muy duro en seco. Límite claro, suavemente ondulado
- BC1 90-120 cm.** Color en húmedo 5YR 3/4-3/6. Moteados oscuros de materia orgánica humificada. Estructura en bloques subangulares, gruesos, irregulares. Barnices finos, comunes. Raíces comunes a ocasionales. Límite ondulado.
- BC2 120+ cm.** Color en húmedo 5YR 4/6- 5/6. Moteados oscuros de materia orgánica humificada, abundantes, con disposición preferentemente horizontal, particularmente en el contacto con el horizonte subyacente. Bloques débiles a masivo. Límite abrupto, plano.

### 4.3 Determinaciones de Laboratorio

En las muestras de suelo obtenidas de los distintos horizontes de la cresta y del bajo de los tres perfiles descriptos se realizaron los siguientes análisis físicos, físico-químicos y mineralógicos:

#### Análisis Granulométrico:

Los análisis granulométricos de todos los horizontes de los tres perfiles estudiados se llevaron a cabo según el método de la pipeta de Robinson (Gee & Bauder, 1986). Las fracciones arcilla total ( $< 2 \mu\text{m}$ ) y limo total ( $2-50 \mu\text{m}$ ) fueron determinadas en suspensión de agua mediante la extracción de alícuotas con la pipeta de Robinson aplicando los principios de la ley de Stokes. La fracción arena fue obtenida por tamizado en seco, fraccionada en arena muy gruesa, gruesa, mediana, fina y muy fina según la escala del USDA.

#### Mineralogía de Arcillas:

Se tomaron 20 gramos de muestra total ( $< 2000 \mu\text{m}$ ) de cada horizonte y se le agregaron 10 ml de Peróxido de Hidrógeno para eliminar la materia orgánica, se lo trató en frío y luego en caliente. Luego se le agregaron 20 ml hexametáfosfato de sodio que actúa como dispersante, se lo llevó a un litro con agua destilada en probetas y se lo agitó manualmente. La fracción arcilla obtenida por sedimentación aplicando la Ley de Stokes fue saturada con Cloruro de Magnesio para obtener muestras homoiónicas. El análisis mineralógico de la fracción arcilla se realizó mediante difracción de rayos X con un equipo Panalytical X Pert Pro sobre muestras orientadas naturales, glicoladas y calcinadas a  $550^\circ \text{C}$  de cada uno de los horizontes de los perfiles estudiados.

La identificación de las arcillas se efectuó evaluando el comportamiento de las muestras en cada uno de los tests aplicados. Una síntesis de los criterios utilizados se presenta en la Tabla N° 1.

<b>Minerales</b>	<b>Naturales</b>	<b>Glicolados</b>	<b>Calcinados 200-300 °C</b>	<b>Calcinados 550 °C</b>
Esmectitas	15-16 Å	16,8-20 Å	10 Å	10 Å
Vermiculitas	14-15 Å	14-16,5 Å	10 Å	10 Å
Cloritas	14-15 Å	14-15 Å	14-15 Å	14-15 Å
Illitas	9,5-10,3 Å	9,5-10,3 Å	9,5-10,3 Å	9,5-10,3 Å
Caolinitas	7-7,2 Å			
Interestratificados illita-vermiculita, illita-esmectita	10-16 Å	10-16 Å	9-10 Å	9-10 Å

Tabla N° 1- Espacio interfoliar en Å de reflexiones basales en pequeños ángulos (2°-15° 2θ/min) Fuente: Robert, 1975; Brindley & Brown, 1980

#### Susceptibilidad Magnética:

Se realizó el estudio de los minerales magnéticos a través de la susceptibilidad magnética a baja frecuencia, medida con un equipo Bartington MS2 con un sensor MS2B. Para este fin se tomaron muestras de cada perfil estudiado a intervalos de 10 cm

de profundidad. Las muestras se midieron en masa específica ( $SI\ 10^{-8}m^3/kg$ ) esto se hizo para baja frecuencia. La frecuencia usada por el sensor MS2B es de 0.465 kHz (LF) y está calibrado para muestras de masa de 10 gramos.

Fuente: Operation Manual for *MS2* Magnetic Susceptibility System

Fósforo extractable: se determinó el contenido de fósforo extractable mediante la técnica de Bray & Kurtz (1945).

Carbono oxidable: se determinó el contenido de carbono oxidable mediante la técnica de Walkley –Black (1934).

Materia orgánica: se determinó mediante la aplicación de un factor empírico de 1,724 considerando un contenido promedio del 58% de carbono en la materia orgánica del suelo (Read J. W., Ridgell R. H., 1921).

Entre las propiedades físico-químicas, se analizaron particularmente aquellas relacionadas con el complejo de cambio (CIC, bases de cambio, pH).

Capacidad de intercambio catiónico: se determinó la capacidad de intercambio catiónico del suelo total mediante saturación con acetato de amonio (Klute, 1986).

Determinación de cationes de cambio: se realizó la determinación de los cationes del complejo de intercambio del suelo total mediante las técnicas habituales por absorción atómica y fotometría de llama.

pH del suelo: se efectuaron las determinaciones de pH en agua (relación suelo:agua 1:2.5).

La caracterización física de los suelos se efectuó mediante diferentes técnicas para evaluar la porosidad, la retención de agua y la capacidad de expansión-contracción.

En algunos casos los análisis se realizaron sobre cada uno de los horizontes descriptos en el campo, en tanto para otras determinaciones se seleccionaron los horizontes más representativos de cada perfil. En la discusión de los resultados de cada determinación se especifican las muestras que fueron analizadas.

### Agua de Saturación

De acuerdo a la metodología de Richards (1949a) y Reitemeier & Fireman (1944), se utilizó el porcentaje de saturación de la pasta saturada preparada para medir conductividad eléctrica, con la finalidad de determinar el agua de saturación.

### Humedad Equivalente

Se pesaron 30 gramos de muestra tamizada a 2 mm. Se colocó la muestra en cajas metálicas especiales con papel de filtro y una malla para no perder material, dejándolos en agua durante 24 hs. Luego se dejó escurrir el exceso de agua por 20 minutos.

Posteriormente se procedió a centrifugar la muestra por 40 minutos a una velocidad de 2400 rpm, para luego pesarlas en húmedo. Por último, se las llevó a estufa a 105 ° C durante 24 hs, siendo luego pesadas y obteniéndose el peso seco. De esta manera con los pesos húmedo y seco se calcula el agua retenida y la humedad equivalente (Briggs & Mc Lane, 1907).

#### Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Estas determinaciones se efectuaron sobre muestras no disturbadas para capacidad de campo y muestras tamizadas por 2 mm para el punto de marchitez permanente. A este efecto, en cada uno de los tres perfiles se tomaron cuatro muestras de suelo por horizonte con cilindros de 5 cm de diámetro, 3 cm de altura y 1-2 mm espesor. Para determinar la capacidad de campo (33 KPa) y el punto de marchitez permanente (1500 KPa) se utilizó la determinación de retención de agua mediante la extracción por placas de presión (ollas de Richards, 1948).

#### Densidad aparente

Se tomaron dos muestras con cilindro de 225 cm<sup>3</sup> en cada uno de los horizontes de los suelos analizados. En el laboratorio las muestras se pesaron y se pusieron a secar en estufa a 105°C, determinándose su peso seco. Con esta información se calculó la densidad aparente, al relacionar el peso seco del suelo con el volumen del cilindro utilizado (Blake & Hartge, 1986-b).

### Porosidad total

La porosidad total ( $St$ ) se determinó a partir de la densidad aparente ( $p_b$ ), y utilizando el número 2,65 ( $p_p$ ) como valor de densidad de partícula, mediante la siguiente fórmula (Danielson & Sutherland, 1986):

$$St = (1 - p_b/p_p)$$

### Distribución por tamaño de poro

Utilizando los resultados obtenidos de las muestras utilizadas para la determinación de las curvas de retención hídrica, se pudo establecer la distribución de poros por tamaño (Danielson & Sutherland 1986). Teniendo en cuenta que los primeros poros en drenar son los más grandes, luego aquellos un poco más pequeños y así sucesivamente, se puede estimar el rango de tamaño de poros involucrado en cada etapa, a partir de la presión negativa ejercida sobre la muestra y aplicando la ecuación de capilaridad de Laplace (Bear, 1972). Conociendo el volumen de agua removida entre las distintas presiones aplicadas, se puede determinar el volumen que ocupa cada categoría por tamaño de poros.

Una importante cuestión asociada con la caracterización de los poros es la falta de una terminología estándar relacionada con su clasificación en distintos intervalos de tamaño (Danielson & Sutherland 1986). En el presente trabajo se adoptó la clasificación por tamaño de poros (Tabla N° 2) similar a la mencionada por Greenland (1977).

Tamaño de poro	Función desempeñada
Mayor a 50 $\mu\text{m}$	Poros de transmisión (Macroporos)
Entre 0,2 y 50 $\mu\text{m}$	Poros de retención de agua disponible (Mesoporos)
Menores a 0.2 $\mu\text{m}$	Poros de retención de agua no disponible (Microporos)

Tabla N° 2 - Clasificación de poros por tamaño y función.

Teniendo en cuenta esta clasificación se procedió entonces a comparar entre horizontes el volumen ocupado por cada una de dichas fracciones.

#### Coefficiente de extensividad lineal (COLE)

En el presente trabajo se determinaron las curvas de contracción de cada horizonte utilizando entre 30 y 40 agregados de 3 a 10  $\text{cm}^3$  de volumen, obtenidos del muestreo a campo. Estos agregados se humedecieron por capilaridad al ser colocados sobre un papel de filtro, alimentado a su vez con agua, mediante el uso de un algodón sumergido en agua destilada. Luego de 24 hs los agregados fueron retirados del dispositivo y se dejaron secar al aire durante distinto tiempo, para provocar en ellos diferentes contenidos hídricos. Después de este desecamiento parcial, y habiendo pesado los agregados para poder determinar su contenido de humedad, estos se colocaron en un recipiente con kerosene durante 24 hs.

Una vez saturados y retirados del recipiente se los secó superficialmente con un papel absorbente, para eliminar la película superficial de kerosene, y así evitar que esta sea contabilizada en los cálculos de volumen de los agregados. Posteriormente y aplicando el principio de Arquímedes, se determinó su volumen, sumergiéndolos en un

recipiente con kerosene dispuesto sobre una balanza. Por último, los agregados se secaron en estufa a 105 °C y se pesaron.

Estos volúmenes fueron utilizados en la ecuación para determinar el coeficiente de extensibilidad lineal (COLE), el cual es un valor que marca la fracción de cambio en la dimensión de los agregados al pasar de un estado seco a otro húmedo. Puede ser usado para hacer inferencias acerca de la capacidad de un suelo a contraerse y expandirse, como de la mineralogía de las arcillas presentes en el mismo (USDA, 1996).

Para su determinación se usó la siguiente ecuación (Grossman *et al.* 1968):

$$\text{COLE}_{\text{std}}: (V_{30}/V_d)^{1/3} - 1$$

siendo:

$V_{30}$  : volumen ocupado por los agregados con un contenido de humedad correspondiente a un potencial mátrico de 30kPa

$V_d$  : volumen ocupado por los agregados secados a estufa a 105° .

Se utilizó la clasificación del Soil Survey Staff (1997) (citado por Thomas *et al.* 2000) para categorizar a los materiales que componen los horizontes estudiados de acuerdo a su capacidad de expansión-contracción. Dichas categorías se detallan en la Tabla N° 3.

<i>Valoración del coeficiente de extensibilidad lineal</i>	
<i>Extensibilidad</i>	<i>Cole (cm /cm)</i>
Baja (B)	< 0,03
Media (M)	0,03-0,06
Alta (A)	0,06-0,09
Muy Alta (MA)	> 0,09

Tabla N° 3 - Capacidad de expansión-contracción citada por Thomas *et al.* 2000

### Extensibilidad lineal

Se determinó el valor de extensibilidad lineal de los 3 perfiles a través de la multiplicación de los valores obtenidos de COLE en cada horizonte por el espesor en cm de cada uno de ellos (Keys to Soil Taxonomy, 2010).

### Micromorfología

Se tomaron muestras no disturbadas de cada uno de los horizontes de los sectores de la cresta y del bajo de los tres suelos seleccionados para realizar cortes delgados. Estos cortes serán analizados por microscopía óptica de polarización en un rango de 6 a 50 aumentos con instrumental Wild equipado para microfotografía. Se efectuarán las descripciones micromorfológicas según los criterios establecidos en Stoops (2003) y Loaiza et al (2015). Se estudiarán en particular la porosidad y microestructura de los suelos y se aplicarán técnicas micromorfométricas de análisis de imágenes (Delgado y Dorronsoro, 1983; Ringrose-Voase, 1991) a partir de fotografías digitalizadas y procesadas mediante el programa JMicrovision.

#### 4.4 Análisis Estadístico

Se realizó el análisis de componentes principales con el propósito de tener una visión sintética de la información obtenida de los tres perfiles. La finalidad del método es obtener una representación de los suelos en un espacio reducido (generalmente de dos dimensiones), cuyas dimensiones son las primeras componentes principales, lo que será posible si las mismas acumulan un porcentaje de varianza importante respecto al total. De este modo, este análisis ofrece resultados interesantes si las variables elegidas están suficientemente correlacionadas para que pueda ser posible reducir la dimensión y obtener una ganancia de significación. Este tratamiento permitiría descubrir grupos de suelos afines dentro de todos los estudiados y observar las combinaciones lineales entre todas las variables estudiadas.

El análisis de componentes principales se dividió en dos partes:

- 1) El primero con el fin de evaluar la mineralogía y las propiedades físico-químicas incluyó las variables: contenido de fósforo, contenido de potasio de intercambio, pH, contenido de carbono orgánico, CIC total, porcentaje de arcilla, porcentaje de limo, porcentaje de arena y susceptibilidad magnética.
- 2) El segundo con el fin de evaluar la interrelación entre las propiedades físicas incluyó las variables: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad equivalente, coeficiente de extensividad lineal, densidad aparente, porosidad total, macroporos, mesoporos y microporos.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa Infostat /P v1.1, 2002.

## 5.RESULTADOS y DISCUSIÓN

Los datos analíticos completos de diversas determinaciones aquí consideradas se presentan en las Tablas incluidas en el Apéndice. En los apartados siguientes todos o parte de esos datos se representan gráficamente, y para algunas determinaciones se acompañan también Tablas con los resultados obtenidos.

### 5.1 Resultados de los Análisis Granulométricos

Los resultados de los análisis granulométricos realizados en los 3 perfiles de suelos estudiados fueron agrupados según el contenido de arena, limo y arcilla en distintos gráficos.

En la Figura N° 8 se puede observar como varía el contenido de arena según la profundidad en los tres perfiles de suelo estudiados.

El primer grupo constituido por el suelo de La Paz es el que presenta menor contenido de arena en todos los horizontes tanto en bajo como en la cresta, con valores que se disminuyen con la profundidad y que oscilan entre un mínimo de 3,6% en el horizonte AC<sub>2</sub>K<sub>ss</sub> y un máximo de 8,1% en el horizonte A1.

El segundo grupo constituido por los suelos de Los Hornos y Castelar presenta contenidos de arena que oscilan entre 13,6 en los horizontes Ap / A y 13,8 en los Bt<sub>ss</sub> tanto en el bajo como en la cresta. Sin embargo, a partir del 1 metro de profundidad comienza a aumentar el contenido de arena respecto de los horizontes superiores lo cual estaría indicando la presencia de diferentes materiales parentales en dicho perfil.

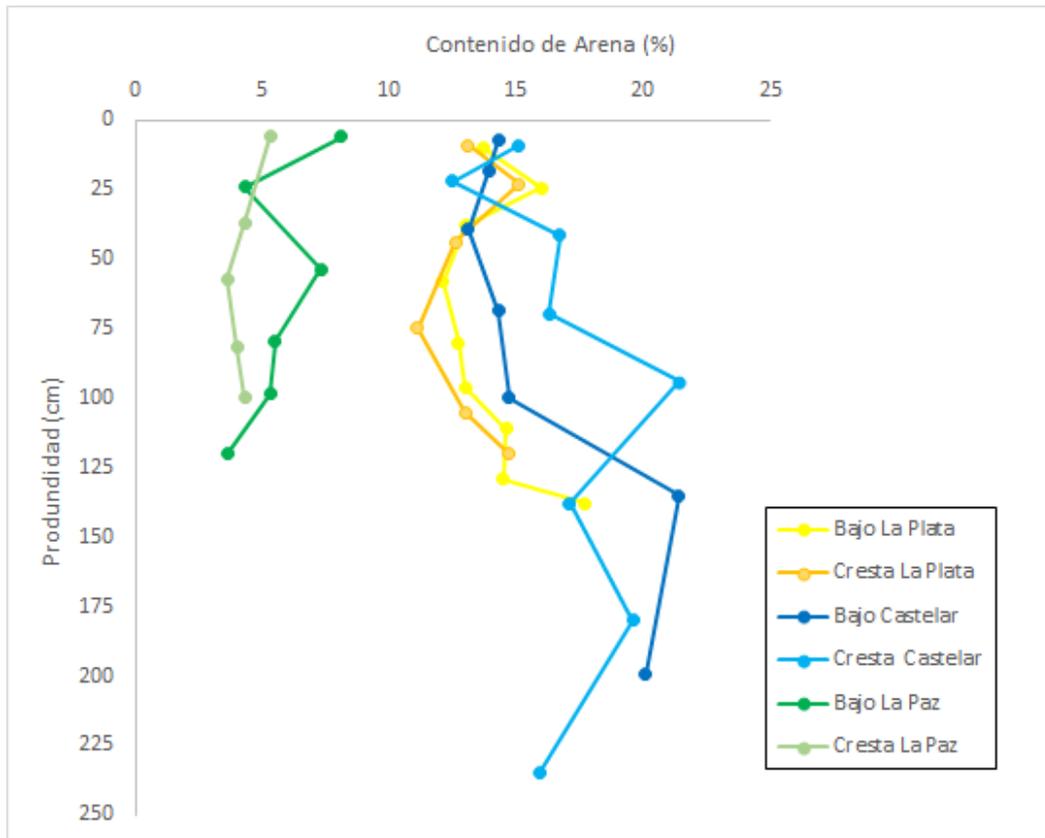


Figura N° 8- Variación del contenido de Arena (%) con la profundidad de los suelos estudiados

En la Figura N° 9 se puede observar como varia el contenido de limo en los suelos estudiados.

En la misma se puede constatar que en los horizontes superficiales el suelo de La Paz es el que presenta el menor contenido de limo, con valores que oscilan entre 40 y 43% en sus horizontes superficiales tanto en el bajo como en la cresta. En cambio, los horizontes superficiales de los sectores cresta y bajo de los perfiles de Los Hornos y Castelar tienen valores que oscilan el 52%. Sin embargo, vale destacar que en profundidad los horizontes de los 3 perfiles disminuyen el contenido de Limo llegando a al mínimo de entre 35 y 40 % a los 75 cm de profundidad. Para luego a partir ahí aumentar nuevamente de algunos levemente como es el caso de La Paz y Los Hornos llegando al 40%. En cambio, se observa en el perfil de Castelar que a partir del metro de profundidad comienza

a aumentar hasta llegando a valores de 50%. Debe notarse también, que todos los perfiles estudiados, presentan en esta fracción granulométrica un patrón de distribución similar con la profundidad, dada por una disminución clara del contenido de limo en los horizontes Bt. Pero luego cuando aumenta la profundidad el contenido de limo aumenta en los diferentes horizontes lo que estaría indicando la presencia de un material parental distinto respecto del de los horizontes superficiales de dicho perfil.

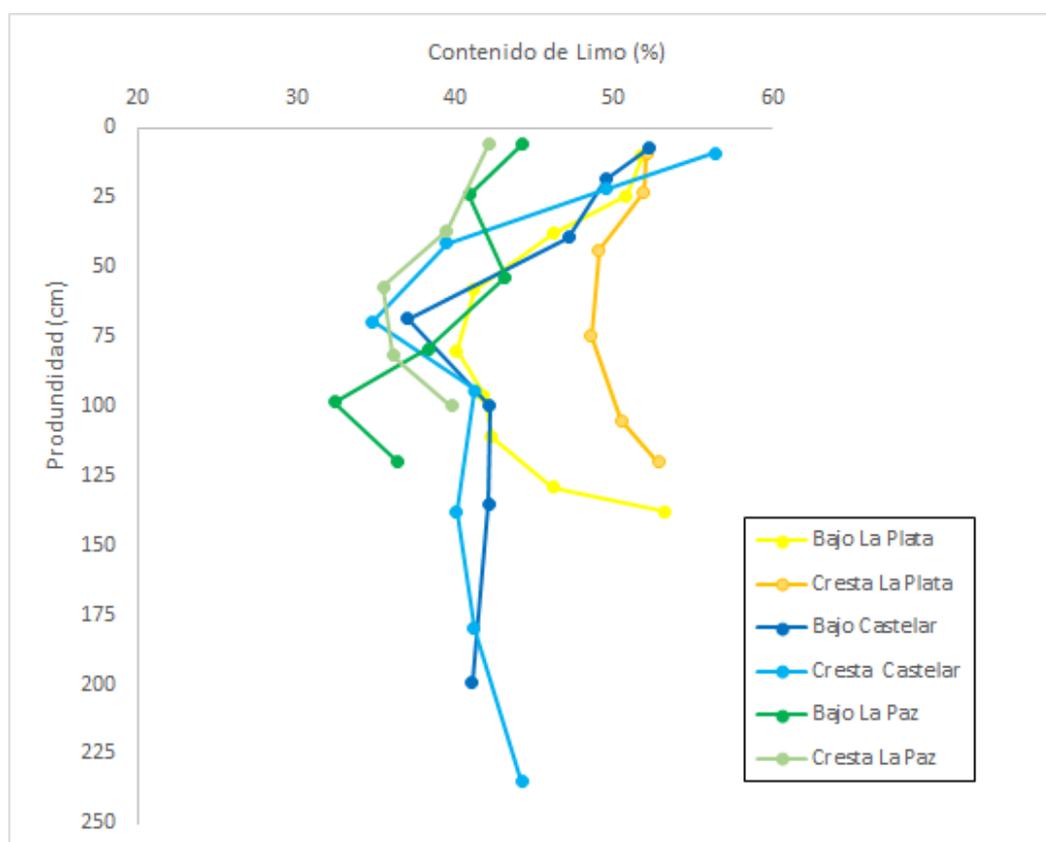


Figura N° 9- Variación del contenido de Limo (%) con la profundidad de los suelos estudiados

En la Figura N° 10 se puede observar como varia el contenido de limo en los suelos estudiados.

El perfil de La Paz presenta los mayores contenidos de arcilla en todos sus horizontes respecto a los restantes con valores que van desde un 48% y hasta un 55%.

En cambio, los perfiles de Los Hornos y Castelar presentan un contenido de arcilla similar en los horizontes superficiales con valores que van desde un 30% y hasta un 35%.

Sin embargo, a medida que aumenta la profundidad y comienzan a aparecer los horizontes Btss se observa un incremento del contenido de arcilla en dichos perfiles llegando a valores similares a los del perfil de La Paz con valores alrededor del 48%.

En los horizontes BC y C de los perfiles de Los Hornos y Castelar, ubicados entre 120 y 150 cm de profundidad, los contenidos de arcilla se aproximan a un valor del 35%,

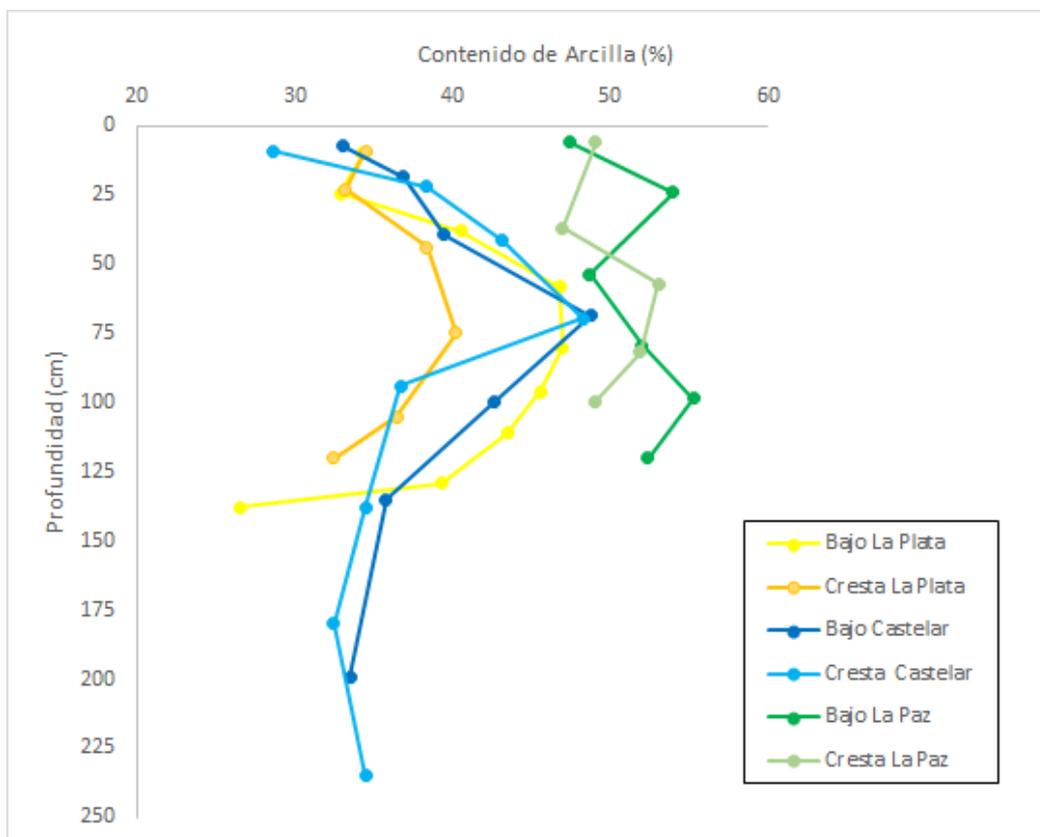


Figura N° 10- Variación del contenido de Arcilla (%) con la profundidad de los suelos estudiados

## 5.2 Resultados de los Análisis Mineralógicos

De los análisis mineralógicos efectuados en todos los horizontes de los tres perfiles estudiados se seleccionaron: horizontes superficiales (A1), horizontes subsuperficiales (Bt1, Btss1) y horizontes más profundos BC1 y C de los sectores del Bajo y de la Cresta de cada uno de ellos.

En las figuras N°11 y N° 12 los análisis por difracción de rayos x muestran que la fracción arcilla de ambos sectores (bajo y cresta) del perfil de La Paz está constituida principalmente por esmectica (E), illita (I) y una cantidad reducida de caolinita (C).

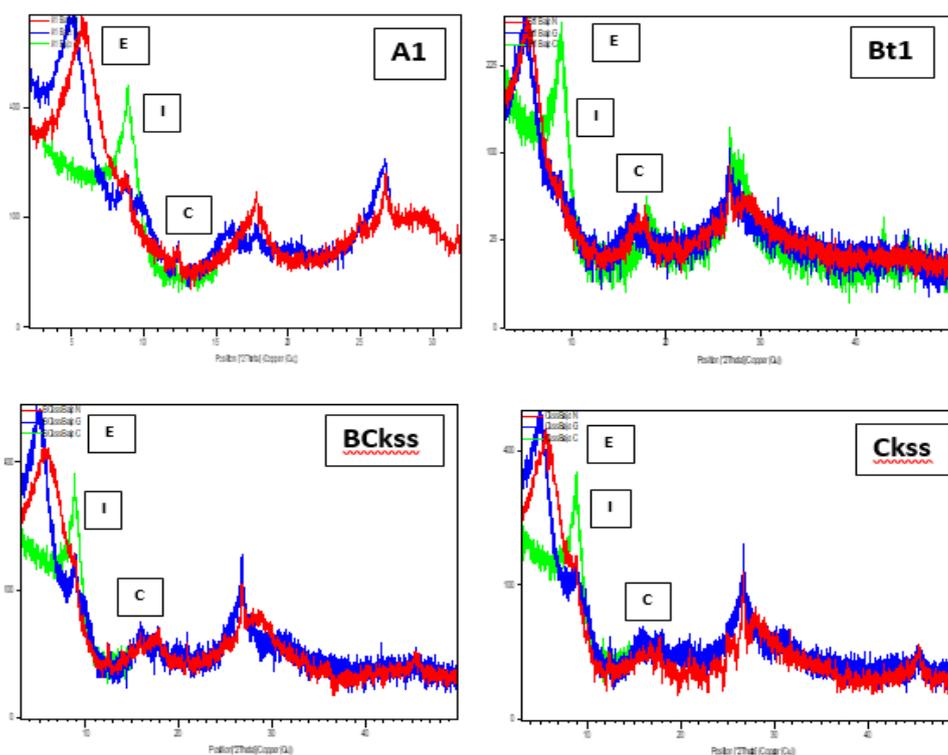


Figura N° 11 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1, Bckss y Ckss del sector del Bajo del perfil de La Paz.

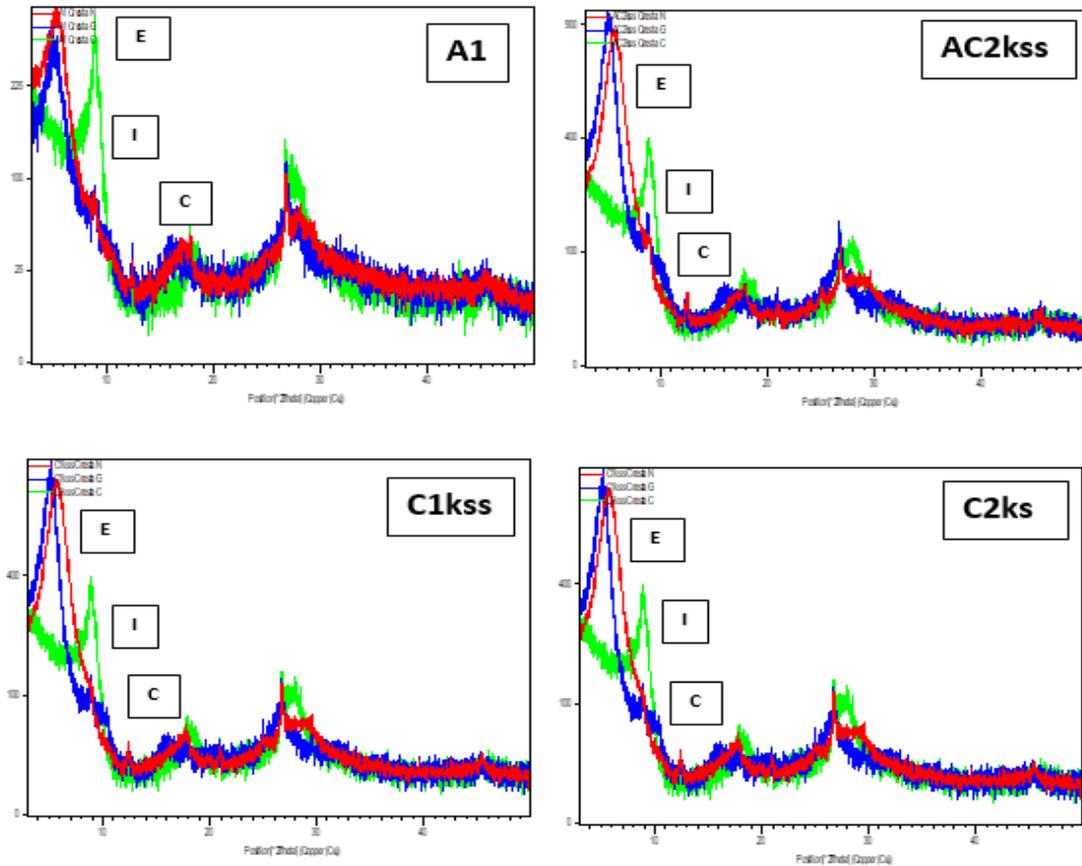


Figura N° 12 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, AC2kss, C1kss y C2kss del sector de la Cresta del perfil de La Paz.

En cambio, en las figuras N°13, N° 14, N° 15 y N° 16 se puede observar que en los horizontes superficiales de los perfiles de La Plata y Castelar la fracción arcilla está constituida por illita (I) junto con pequeñas proporciones de interestratificados de illita-esmectita (I/E) y caolinita (C).

Sin embargo, si observamos las mismas figuras en los horizontes subsuperficiales y profundos la fracción arcilla está constituida por esmectita (E) y disminuyen las proporciones de illita (I) y caolinita (C).

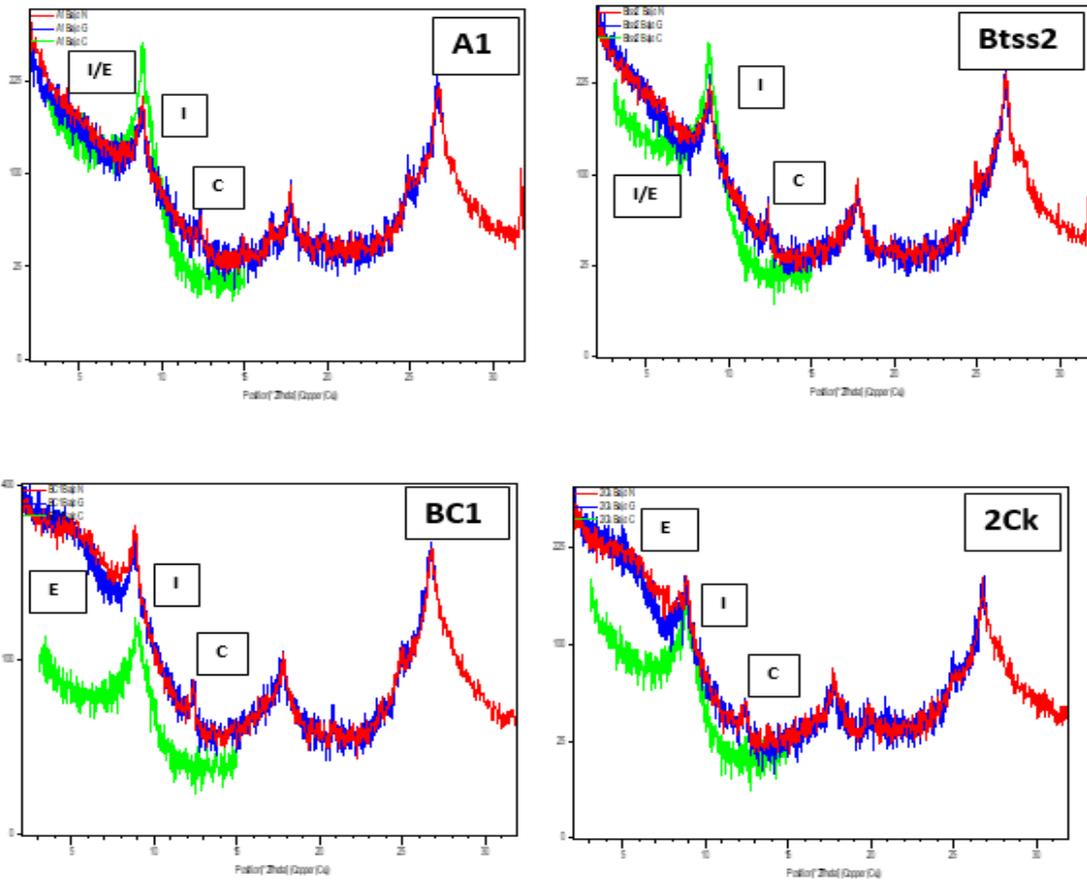


Figura N° 13 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Btss2, BC1 y 2Ck del sector del Bajo del perfil de La Plata.

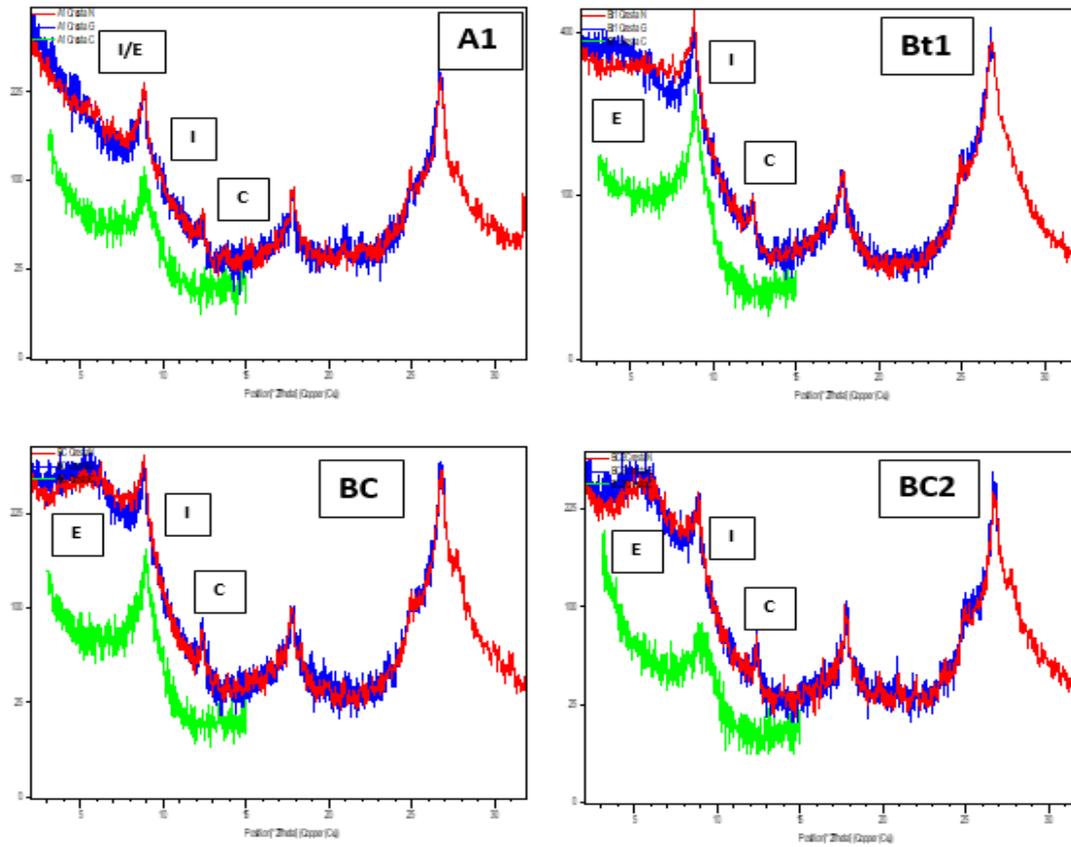


Figura N° 14 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1, BC y BC2 del sector de la Cresta del perfil de La Plata.

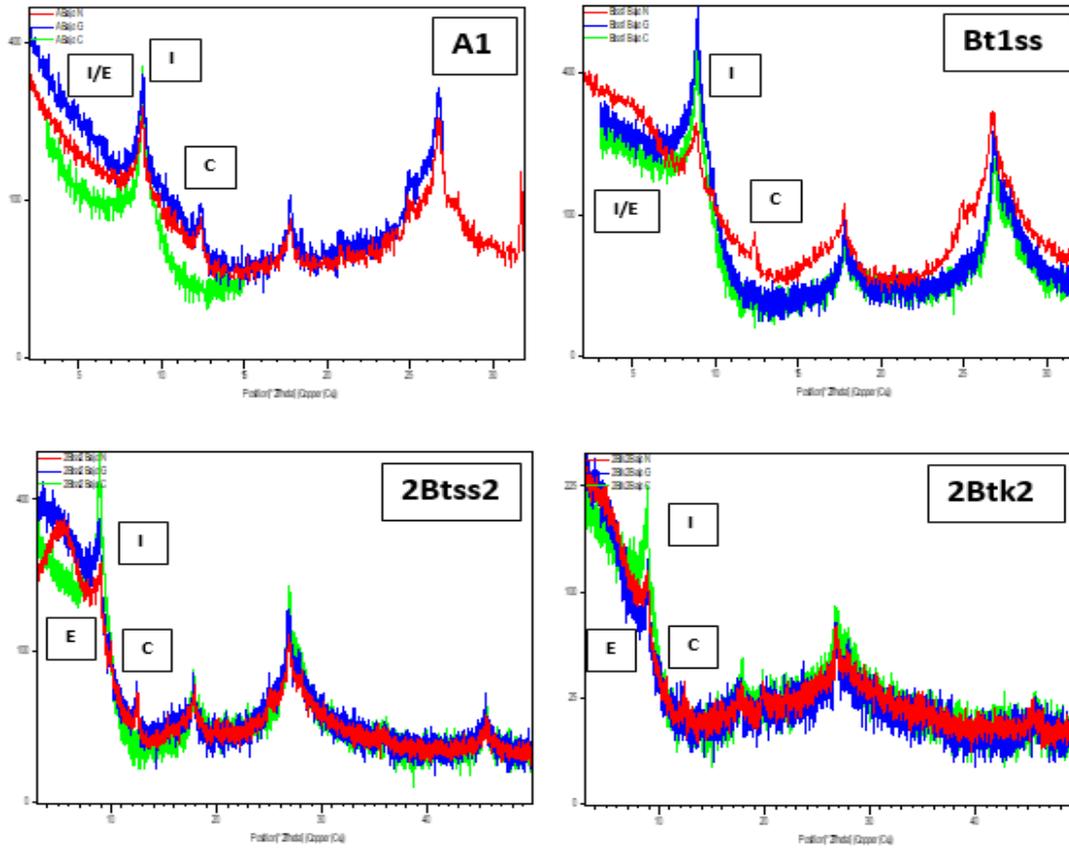


Figura N° 15 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, glicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1ss, 2Btss2 y 2Btk2 del sector del Bajo del perfil de Castelar.

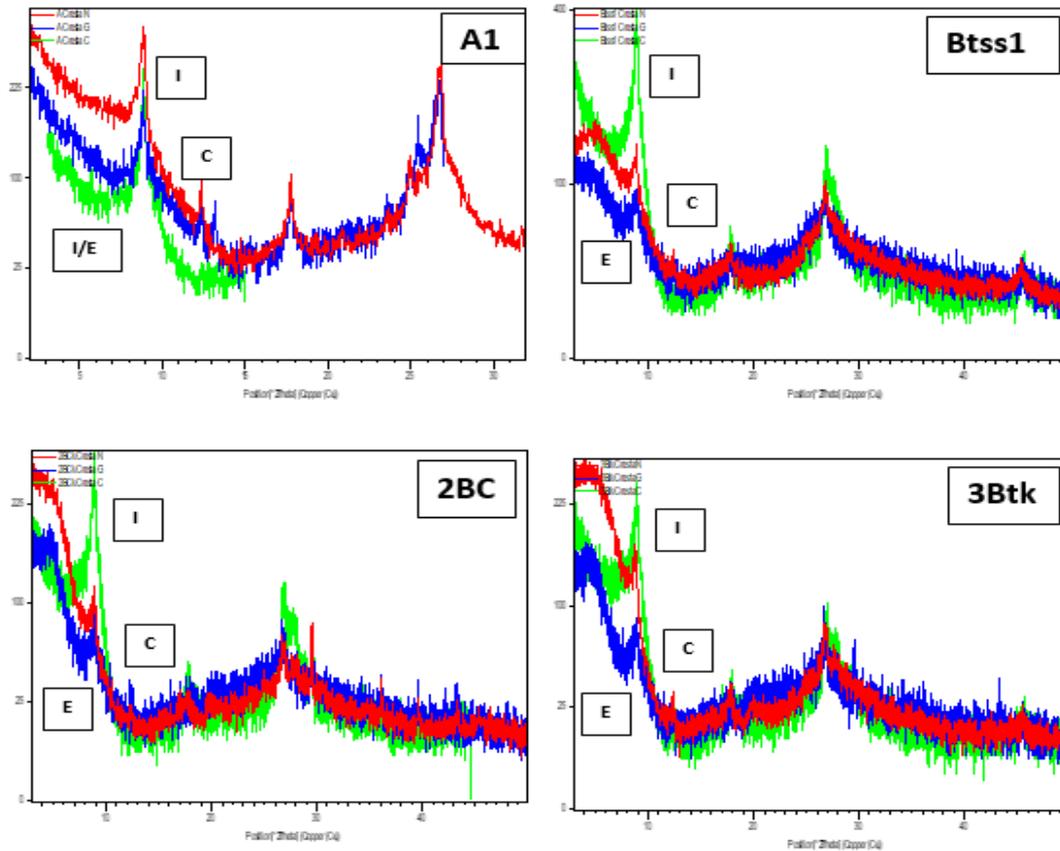


Figura N° 16 -Diagramas de difracción de rayos X sobre muestras de arcillas naturales, gicoladas y calcinadas de los horizontes A1, Bt1ss, 2BC y 3Btk del sector de la Cresta del perfil de Castelar.

### 5.3 Resultados de los Susceptibilidad Magnética

En la Figura N° 17 se pueden apreciar los valores obtenidos de la medición de susceptibilidad magnética (SM) a baja frecuencia en los sectores de bajo y cresta de los 3 perfiles estudiados (ver Apéndice).

Considerando el conjunto de valores de susceptibilidad magnética específica obtenidos, resulta claro que el suelo de La Paz situado en la posición más cercana del río Paraná presenta a lo largo de todo el perfil valores de SM marcadamente inferiores respecto a los demás suelos estudiados. Estos resultados condicen con el incremento de

minerales pesados y de magnetita hacia el oeste señalado en otros trabajos como Etchichury *et al.* (1997) y Morrás (2003), así como con la granulometría más fina del suelo ubicado en La Paz: la señal de SM refleja así los parámetros que integra, esto es el tipo, concentración y tamaño de grano de los minerales de la fracción magnética. En la Figura N° 17 se constata también que los suelos de Los Hornos y Castelar presentan mayores valores de SM en los horizontes superficiales respecto del suelo de La Paz. En cambio, en profundidad con la aparición de los horizontes Bt la SM comienza disminuir semejándose a los valores del Perfil de La Paz en dicha profundidad. Para terminar cabe destacar que en los horizontes más profundos de los perfiles de Los Hornos y Castelar se repite la tendencia de disminución de la SM asemejándose a que registra el perfil de La Paz. En consecuencia, estos valores de SM confirman lo visto por Morrás *et al.* (2023) quien sugiere que estos suelos se han desarrollado a partir de un material parental esmectítico que luego fue erosionado y se le depositó un material parental loessico más grueso expresando estos tipos de suelos propiedades vérticas debido a la mezcla de materiales.

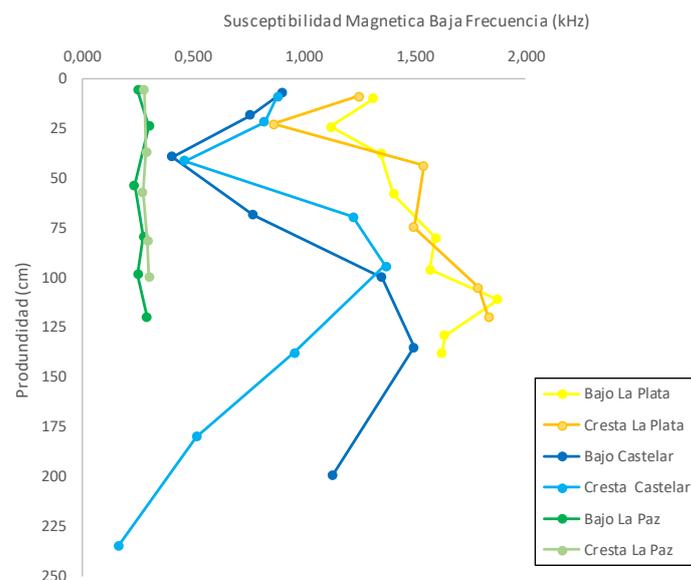


Figura N° 17 - Variación de la Susceptibilidad Magnética en baja frecuencia (kHz) con la profundidad de los suelos analizados.

## 5.4 Resultados de los Análisis Químicos y Físico-Químicos

De todos los parámetros químicos y físico-químicos evaluados, se seleccionaron cinco que se consideraron relevantes para caracterizar los diferentes suelos estudiados. Los parámetros elegidos fueron: contenido de carbono orgánico (CO), contenido de fósforo extractable (P), contenido de potasio de intercambio (Ki), pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC) (ver Apéndice).

Los resultados analíticos obtenidos correspondientes al contenido de carbono orgánico de los suelos estudiados se presentan en la Figura N° 18. En los horizontes superficiales, el bajo del perfil de La Paz y tanto el bajo y la cresta del perfil de Los Hornos son los que presentan mayores contenidos de carbono orgánico (2,5%) y la cresta del perfil de La Paz junto con el bajo y la cresta del perfil de Castelar presentan menores contenidos de carbono orgánico alrededor del 1,5%. Luego en profundidad se ve un comportamiento similar en los 3 perfiles entre los 25 y 75 cm siendo el perfil de La Plata el de mayor contenido (2%), seguido por el perfil de Castelar (1,3%) y por último el perfil de La Paz (0,5%). A partir del metro de profundidad los tres perfiles presentan similares contenidos de carbono orgánico.

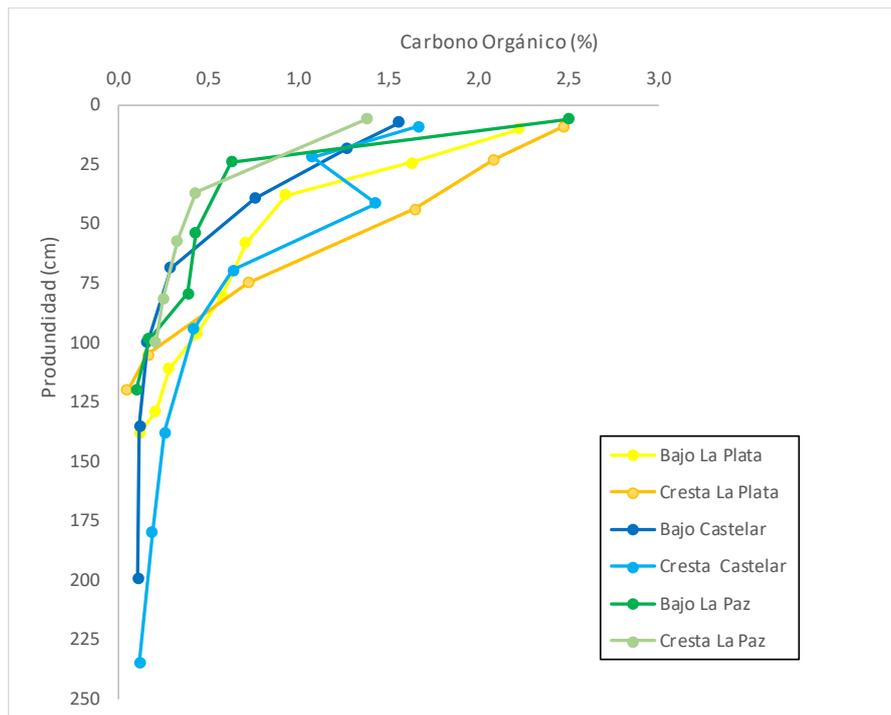


Figura N° 18 - Variación del contenido de Carbono Orgánico (%) con la profundidad de los suelos estudiados

Esta diferencia puede ser explicada si observamos los resultados granulométricos, los cuales muestran que el suelo de La Paz tiene mayores contenidos de arcilla en todo el perfil respecto de los otros dos. El mayor contenido de arcilla genera un efecto protector del carbono orgánico, disminuyendo así la tasa de descomposición y generando una mayor acumulación en los distintos horizontes. Estos resultados coinciden con lo descrito por Alvarez & Lavado (1998), Burke *et al.* (1989) y Buschiazzi *et al.*, (1991) quienes indican que la distribución del tamaño de partícula puede regular el nivel de carbono orgánico independientemente del clima. Bronick & Lal (2005) y Six *et al.* (2000) observaron asimismo mayor agregación y elevados contenidos de carbono orgánico en suelos con arcillas de alta actividad como las esmectitas y otras arcillas 2:1, con altos valores de CIC y gran superficie específica.

Dado que el área estudiada en el presente trabajo es en términos generales climáticamente homogénea, el mayor contenido de arcilla en todo el perfil de La Paz

como en los horizontes Bt de los perfiles Los Hornos y Castelar así como su mineralogía esmectítica explicarían la mayor concentración de carbono en este suelo.

En la Figura N° 19 se observa la variación del contenido de fósforo extractable (P) con la profundidad. Como se sabe, esta fracción está constituida por diferentes aniones fosfóricos, en gran proporción adsorbidos sobre sitios de intercambio de arcilla y materia orgánica así como superficies sorbentes de oxi-hidróxidos.

Aunque los suelos estudiados no fueron recientemente cultivados los contenidos de esta fracción de P en los horizontes superficiales podrían estar relacionados con aportes desconocidos, antropogénicos o animales. Con la excepción de Luján, los contenidos de P asimilable en los horizontes A son elevados. Esto se correlacionaría con los resultados de Morrás (1999) referidos al P total en los suelos vírgenes de esta región, pero difieren de los referidos por Darwich (1983) en cuanto a que el P asimilable de toda esta zona sería deficitario.

Por lo anteriormente dicho, para la interpretación se consideran solamente los valores obtenidos por debajo de los 75 cm de profundidad, que reflejarían la concentración natural de esta fracción en el material parental de los suelos.

En la Figura N° 19 se observa la variación del contenido de fósforo extractable (P) con la profundidad. Como se sabe, esta fracción está constituida por diferentes aniones fosfóricos, en gran proporción adsorbidos sobre sitios de intercambio de arcilla y materia orgánica así como superficies sorbentes de oxi-hidróxidos.

Aunque los suelos estudiados no fueron recientemente cultivados los contenidos de esta fracción de P en los horizontes superficiales podrían estar relacionados con aportes desconocidos, antropogénicos o animales. Con la excepción de la cresta del perfil de Los Hornos, los contenidos de P asimilable en los horizontes BC son muy elevados. Esto se correlacionaría con los resultados de Morrás (1999) referidos al P total en los suelos

vírgenes de esta región, pero difieren de los referidos por Darwich (1983) en cuanto a que el P asimilable de toda esta zona sería deficitario.

Por lo anteriormente dicho, para la interpretación se consideran solamente los valores obtenidos por debajo de los 75 cm de profundidad (con la excepción la cresta del perfil de Los Hornos), que reflejarían la concentración natural de esta fracción en el material parental de los suelos.

Estos datos muestran que el suelo de La Paz es el más rico en esta fracción de P con valores que oscilan alrededor de  $10 \text{ mg Kg}^{-1}$ , en tanto el suelo de Castelar lo sigue con  $5 \text{ mg Kg}^{-1}$  y luego bajo de Los Hornos con valores cercanos a  $3 \text{ mg Kg}^{-1}$ .

Así, dado que el P asociado a la materia orgánica sería escaso en estos horizontes, los datos de los horizontes profundos indican una relación directa entre el P soluble y la textura; por otro lado los contenidos de P asimilable en los suelos de textura más fina como La Paz son de valores medios.

Este resultado podría asociarse a lo observado por Morrás (1999) respecto al P cuasi-total en los horizontes subsuperficiales de los suelos pampeanos. Este autor identificó en el oeste de la Pampa Ondulada un sector (identificado como Fs) con un contenido de P cuasi-total superior al del este de la misma región; según el autor resulta llamativa la individualidad geoquímica de ese sector, que no sería posible explicar con la información mineralógica-sedimentológica actualmente disponible.

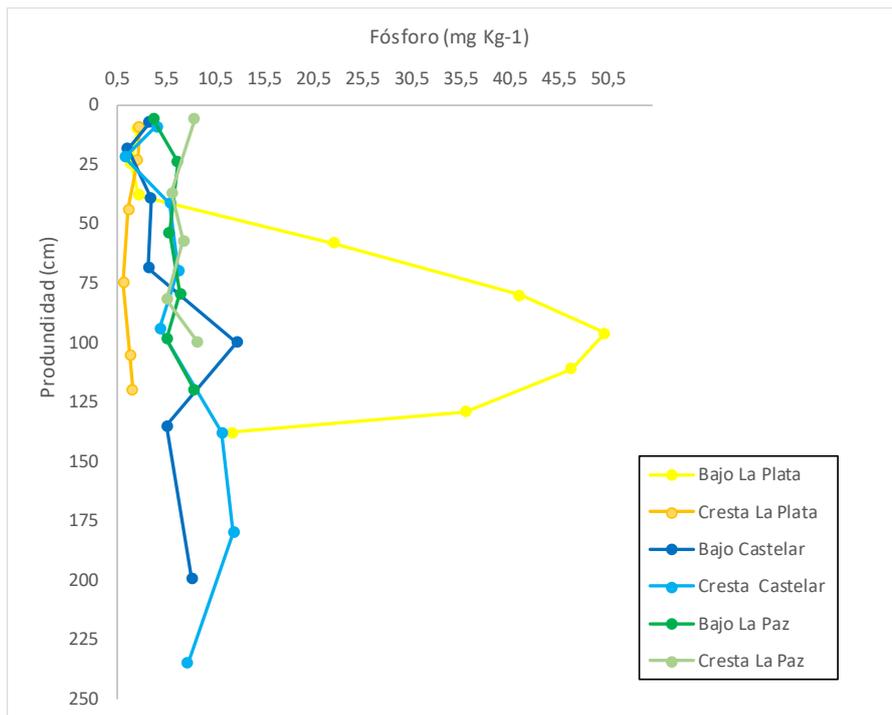


Figura N° 19- Variación del contenido de Fósforo extractable ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) con la profundidad en los suelos estudiados

En la Figura N° 20 se observa la variación del contenido de Potasio de intercambio ( $K_i$ ) en función de la profundidad. En los horizontes superficiales todos los suelos presentan contenidos similares de potasio, que oscilan entre 1 y 2  $\text{cmol/Kg}$ . En los horizontes B y C se observa que perfil de La Paz disminuye su contenido hasta los 50 cm de profundidad donde vuelve a aumentar lentamente. un comportamiento similar al encontrado superficialmente. En cambio, en esta misma profundidad los perfiles de Los Hornos y Castelar tienen valores muy similares y parecidos a los encontrados superficialmente. Solamente con la excepción del aumento que se ve a los 100 cm en el perfil de Castelar llegando el contenido de potasio de intercambio ( $K_i$ ) al 3% para luego del metro disminuir para llegar a los valores similares encontrados en el resto de los horizontes de dicho perfil.

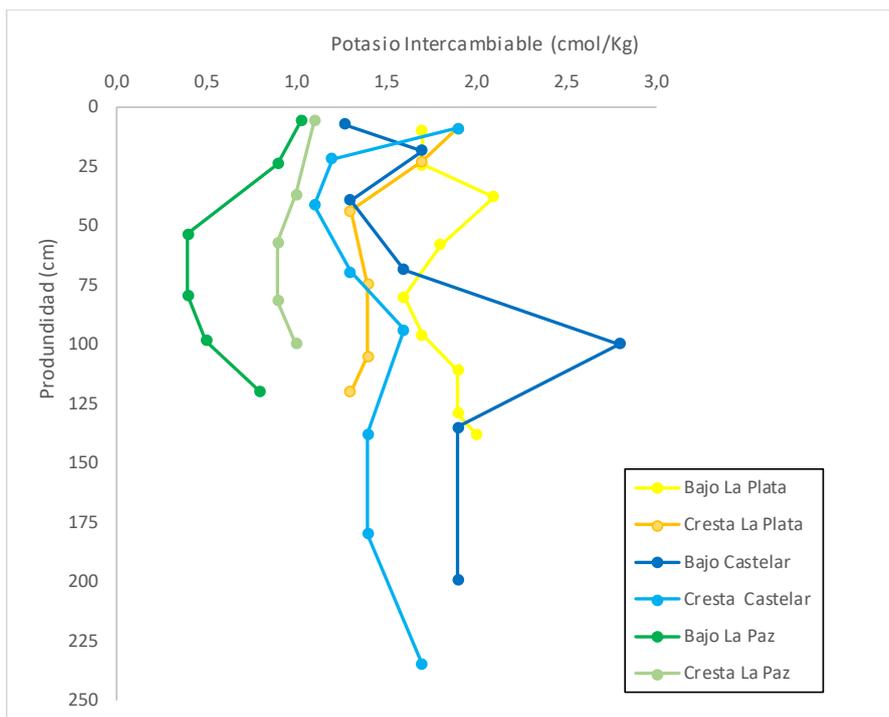


Figura N° 20- Variación del contenido de Potasio de intercambio (cmol/Kg) con la profundidad de los suelos estudiados

Debe señalarse que los resultados obtenidos de potasio intercambiable en valor absoluto y en relación a la CIC coinciden en términos generales a los encontrados por Morrás & Cruzate (2002). Estos autores estudiando la distribución de los contenidos de potasio de intercambio encontraron que en la Pampa Ondulada los mayores contenidos se encontraban en los Argiudoles típicos situados en el centro y el oeste de la región, incluyendo tanto aquellos en los que predomina el limo como aquellos en los que la arena constituye una proporción considerable. Respecto a estos tres perfiles estudiados, de acuerdo a los autores mencionados, estos se encontrarían en el área de Vertisoles y Argiudoles vérticos vecinos al río Paraná en la que los contenidos de K intercambiable son más reducidos.

La variación del pH con la profundidad en los suelos se presenta en la Figura N° 21. En los horizontes superficiales todos los suelos tienen valores similares de pH, estando estos dentro del intervalo 5.8 a 6,3 a excepción de la cresta del perfil de La Paz que tiene un valor de 7.5. A medida que aumenta la profundidad los perfiles de La Paz y Castelar aumentan el pH hasta llegar a valores alrededor de 8 entre los 100 y 125 cm. En cambio, el perfil de Los Hornos la cresta y el bajo presentan valores similares de pH cercanos a 6 hasta los 100 cm luego a partir de esta profundidad el bajo aumenta su pH hasta llegar a un valor cercano a 8. Cabe destacar entonces que los valores de pH cercanos a 8 encontrados en los sectores bajo y cresta de todos los perfiles (con excepción del bajo del perfil de Los Hornos) coincide con lo encontrado con Morras et. al 2022 quienes explican esto con la presencia de un mayor contenido de  $\text{CaCo}_3$  a partir de los 80 cm de profundidad siendo esto un rasgo característico de los Vertisoles

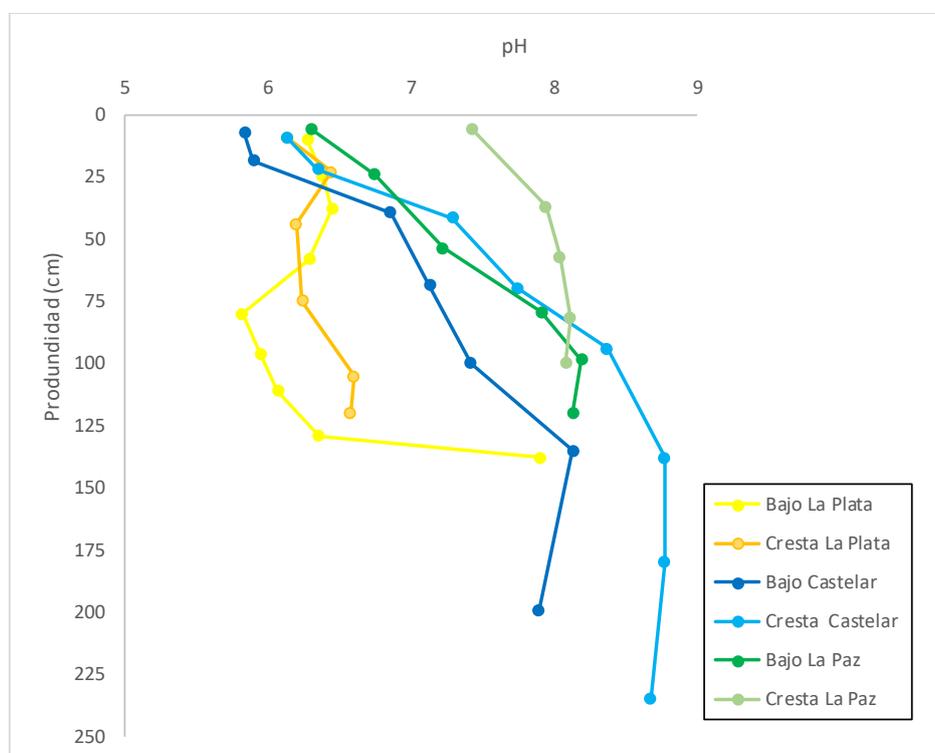


Figura N° 21- Variación del pH con la profundidad de los suelos estudiados

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico, su variación con la profundidad se presenta en la Figura N° 22.

En los horizontes superficiales se observa que todos los perfiles tienen valores de CIC que van entre 25 y 30  $\text{cmol Kg}^{-1}$ . Estos valores, además de la contribución de la fracción arcilla, están claramente influenciados por el contenido de materia orgánica.

Luego con el aumento de la profundidad se observa que todos los perfiles tienen valores de CIC que van entre los 35 y 40  $\text{cmol Kg}^{-1}$ . Esto ocurre en los horizontes Bt, donde se constata la máxima acumulación de arcilla además de una cierta proporción de MO.

Por el contrario, a partir los 100 cm en los horizontes más profundos Bt2, BC y C se observa una disminución más notoria de los valores de CIC llegando nuevamente a valores entre 25 y 35  $\text{cmol Kg}^{-1}$ . Estos resultados encontrados coinciden con los descritos por Cumba et.al 2005 quienes observaron que los Argiudoles vérticos tienen valores promedios de CIC de 26  $\text{cmol Kg}^{-1}$  y los Vertisoles valores promedios de 31,6  $\text{cmol Kg}^{-1}$ . Esto estaría indicando que el comportamiento físico-químico de los perfiles de Los Hornos y Castelar correspondería a la familia de los Vertisoles.

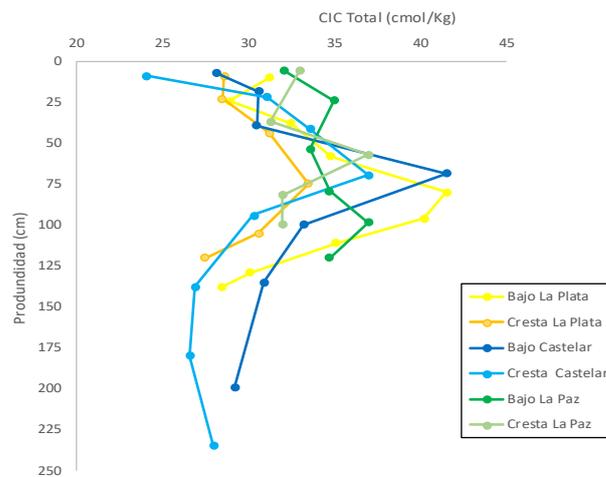


Figura N° 22- Variación del CIC Total ( $\text{cmol Kg}^{-1}$ ) con la profundidad de los suelos estudiados

## 5.5 Resultados de retención de agua

En la Figura N° 23 se presenta la variación del contenido de agua de saturación a medida que aumenta la profundidad en los tres perfiles estudiados. En los horizontes superficiales se observa que el perfil de La Paz es el de mayor contenido de agua de saturación (66,6 %). Por otro lado, los perfiles de Los Hornos y de Castelar tienen valores similares que oscilan entre 50 y 58 %. En cambio, a medida que aumenta la profundidad los tres perfiles tienen un comportamiento similar presentando valores muy parecidos similares. Alrededor del metro de profundidad se aprecia una variación muy baja entre los valores de los 3 perfiles incluyendo ambos sectores de bajo y cresta.

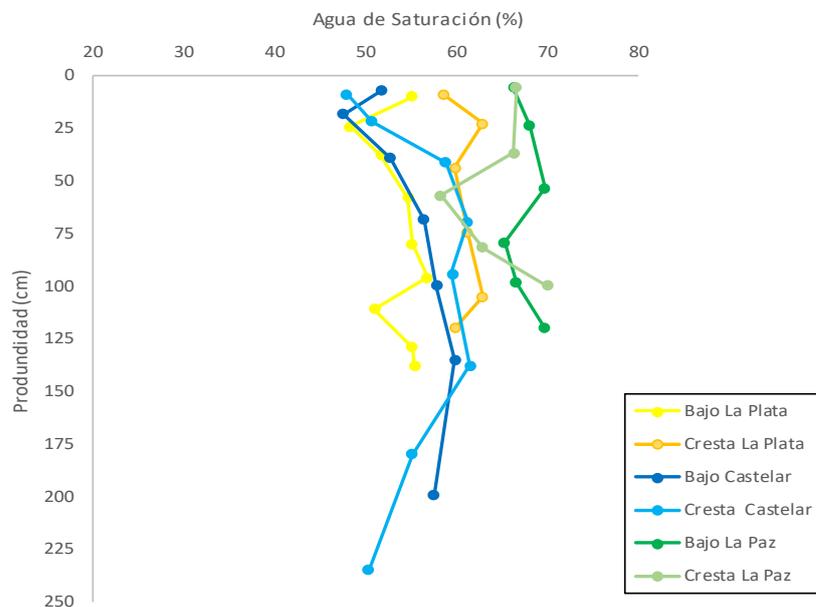


Figura N° 23- Variación del contenido de agua de saturación (%) con la profundidad de los suelos estudiados.

En la Figura N° 24 se puede observar cómo varía la humedad equivalente a través de los distintos horizontes de los suelos estudiados.

En la misma se puede visualizar que en los horizontes superficiales los mayores valores de humedad equivalente se presentan en los suelos correspondientes a La Paz (40%) y la cresta de Los Hornos (37 %). Por su parte el correspondiente al bajo de Los Hornos se ubica en valores intermedios (29 %), mientras que el de Castelar es el de menor valor (22 %).

En los horizontes Bt los valores de humedad equivalente correspondientes a todos perfiles aumentan a valores cercanos entre 40 y 50 %, mientras que luego con la aparición de los horizontes BC los perfiles de Los Hornos y Castelar disminuyen sus valores cercanos a un 30 %. Todo lo contrario, sucede con el perfil de La Paz que después de los 100 cm de profundidad aumenta los valores de humedad equivalente de entre 60 y 70 %.

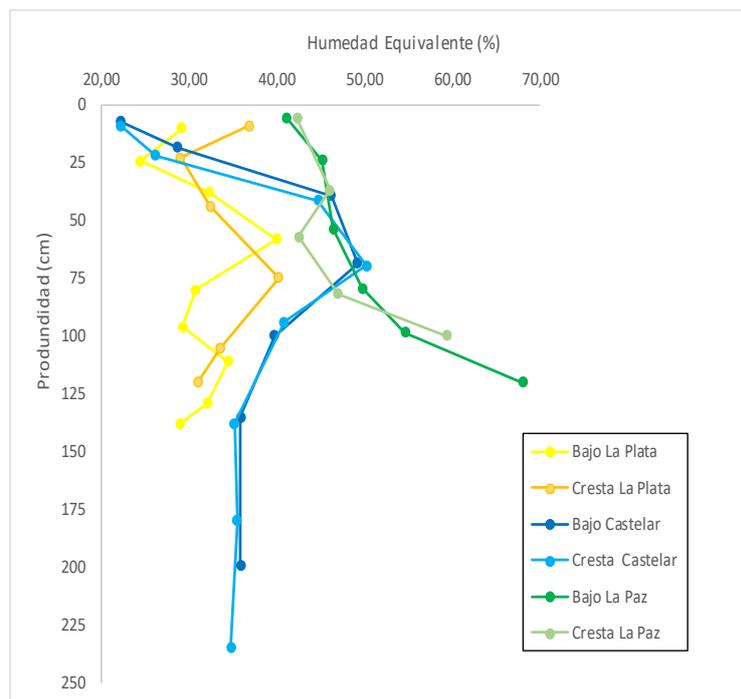


Figura N° 24 - Variación de la humedad equivalente (HEq) con la profundidad de los suelos estudiados.

La variación de la capacidad de campo en horizontes seleccionados de los perfiles estudiados se puede observar en la Figura N°25.

De su análisis se desprende que en los horizontes superficiales los 3 perfiles presentan valores similares de capacidad de campo que oscilan entre el 30 y 35 % con la excepción de la del perfil de La Paz que tiene una capacidad de campo de 41 %.

En los horizontes Bt, entre 26 y 60 cm de profundidad se observa como en los tres perfiles aumentan los valores de capacidad de campo llegando a valores cercanos al 45 % con excepción del bajo de perfil de Los Hornos que llega a 33%.

En profundidad resulta llamativo que los perfiles de Castelar y La Paz mantienen valores de capacidad de campo cercanos al 40% y en cambio en el perfil de Los Hornos los valores oscilan entre un 30 y 35 %.

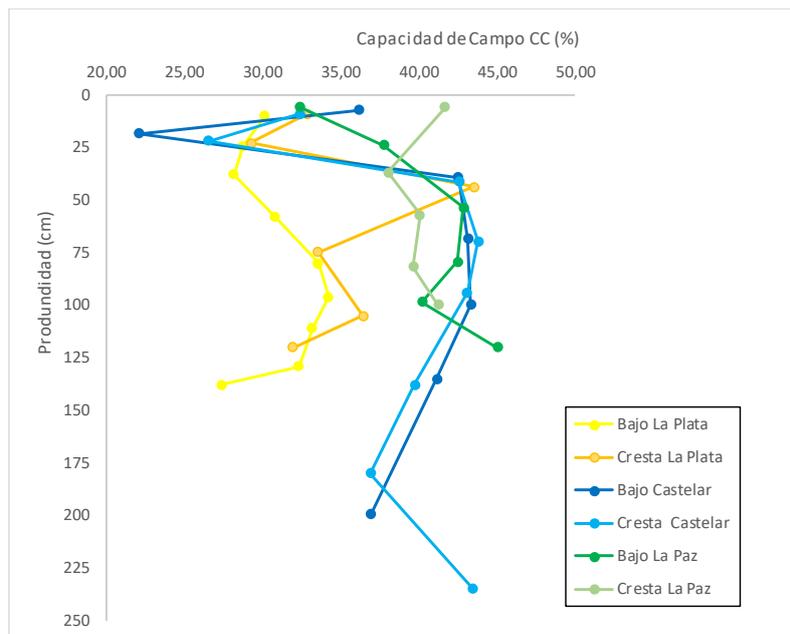


Figura N° 25 - Variación de la capacidad de campo (CC) con la profundidad de los suelos estudiados.

La variación del punto de marchitez permanente con la profundidad en los 3 perfiles estudiados puede observarse en la Figura N° 26. En los primeros centímetros de los suelos el punto de marchitez permanente es similar en todos los perfiles con valores que oscilan entre 25 y 30 % con la excepción del bajo del perfil de La Paz que tiene un

valor de (14 %). En los horizontes Bt, entre 25 y 50 cm de profundidad el sector de la cresta de Los Hornos presenta la mayor retención de agua en el PMP (alrededor de 38%), mientras que el sector bajo del mismo presenta el menor valor (26%) y resto de los sectores bajo y cresta de los perfiles presentan un valor intermedio (alrededor de 30%). En profundidad la capacidad de retención de agua disminuye en todos los perfiles en valores que oscilan alrededor del 25 al 30%.

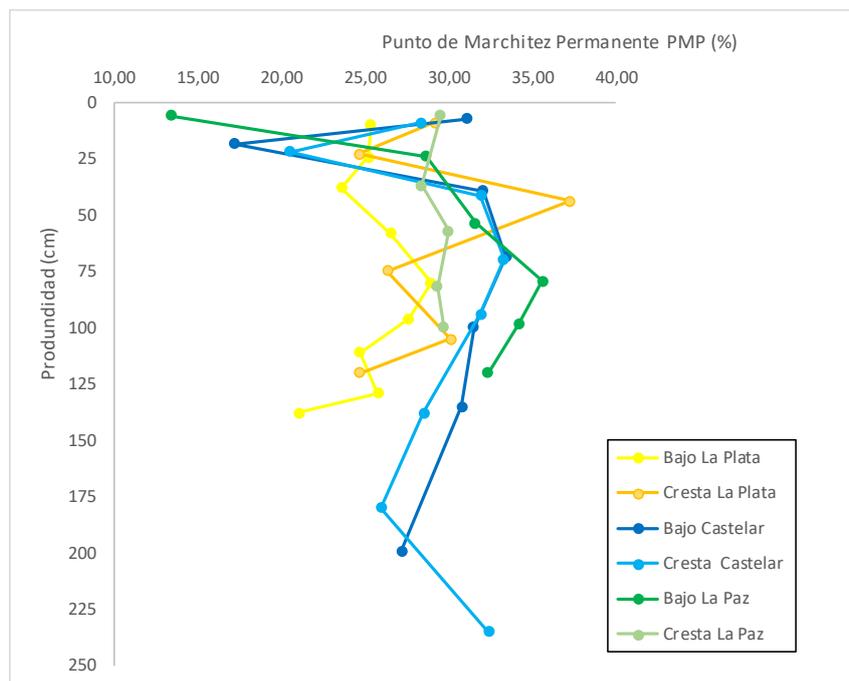


Figura N° 26 - Variación del punto de marchitez permanente (PMP) con la profundidad de los suelos estudiados

En síntesis, los parámetros analizados muestran diferencias marcadas en la capacidad de retención hídrica tanto entre los distintos suelos como dentro de cada uno de los perfiles estudiados.

De esta manera, y observando las variaciones en profundidad de los valores de retención hídrica, resulta evidente que los tres perfiles tienen un comportamiento muy similar en los diferentes horizontes. Con la aparición de los horizontes más arcillosos es mayor la retención hídrica.

Sin embargo, la correspondencia no es estricta comparando los distintos puntos de retención de agua y técnicas empleadas. En este sentido, debe notarse que la diferenciación entre los mencionados tres perfiles aparece más evidente tomando en cuenta los valores de humedad equivalente y del punto de marchitez permanente, sobre todo en los horizontes subsuperficiales. Cabe recordar que ambas metodologías se llevan a cabo sobre muestras de suelo molidas y tamizadas.

Para la determinación de la capacidad de campo, en este trabajo se han utilizado muestras no disturbadas tomadas con cilindro, siendo el procedimiento más habitual el de usar agregados individuales no disturbados. De acuerdo a lo mencionado, el procedimiento utilizado en el presente estudio para la determinación del contenido de agua a capacidad de campo incluiría la porosidad interagregados y en consecuencia y se ajustaría mejor al comportamiento natural del suelo.

Por otro lado, suele considerarse que el dato de humedad equivalente es similar o muy cercano al de capacidad de campo. No obstante, el procedimiento de la HEq implica una succión equivalente a 100 KPa (Baize, 2000): por este motivo en los suelos de texturas gruesas la HEq daría valores menores que la C.C., mientras que en texturas finas sucedería lo contrario (Ratto, 2000). En consecuencia, dado que la H Eq reflejaría mejor que la determinación de la CC el efecto del contenido y tipo de arcilla en la retención de agua al utilizar mayores succiones y no estar influenciada por la porosidad interagregados, en este trabajo parecería ser más apropiado tomar en cuenta los resultados del primer procedimiento. Por otro lado, la determinación de la humedad equivalente es de gran interés dado su facilidad operativa, lo que permite la obtención de un mayor número de datos y la construcción de curvas más completas como las que aquí se presentan.

La determinación del agua de saturación de por sí tiene un componente de subjetividad relacionado con el criterio del operador. Sin embargo, resulta interesante

notar en el suelo de La Paz valores claramente elevados en los horizontes superficiales diferenciándolo respecto de los perfiles de Los Hornos y Castelar. Sin embargo, a medida que aumenta la profundidad la retención de agua hasta el punto de saturación observada en los tres perfiles reflejaría una mayor capacidad de expansión en concordancia con la composición de la arcilla esmectita. A su vez, este incremento en los parámetros de retención de agua que presentan los horizontes más profundos encontrados en los perfiles de Los Hornos y Castelar con valores similares o aún superiores a los de sus correspondientes horizontes Bt, se corresponden con los incrementos de arcilla y las discontinuidades descritas en el campo validando la presencia de un material parental similar al presente en el perfil de La Paz.

## 5.6 Resultados de Porosidad

Los resultados de densidad aparente de los distintos horizontes de los tres perfiles estudiados se pueden observar en la Figura N° 27.

En los horizontes superficiales los valores de densidad aparente oscilan (entre 1,0 y 1,2 g cm<sup>-3</sup>), luego se observa un incremento marcado en los horizontes Bt (1,20 a 1,40 g cm<sup>-3</sup>), y disminución marcada a mayor profundidad con valores alrededor del 1,20 g cm<sup>-3</sup>.

En síntesis, si bien es claro que todos los suelos presentan una disminución de la densidad aparente hacia la parte inferior del perfil (horizontes BC y C) (con la salvedad del horizonte más profundo del bajo de Los Hornos), el comportamiento de los horizontes A y Bt es diferente de acuerdo al suelo analizado.

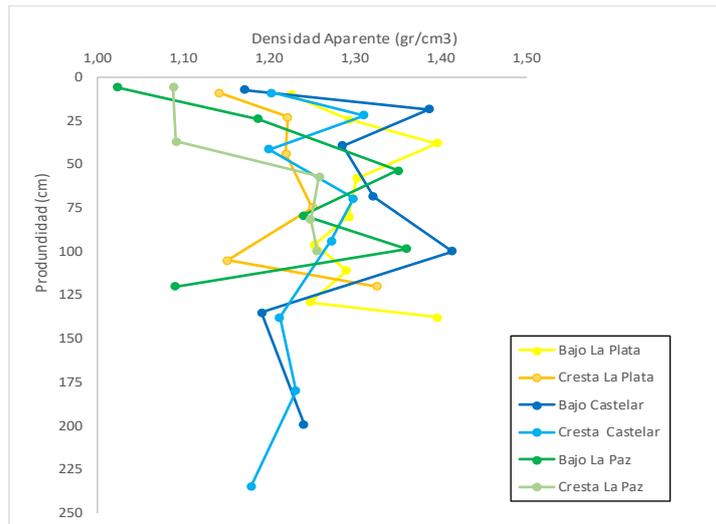


Figura N° 27- Variación de la densidad aparente (Dap) con la profundidad de los perfiles de estudiados.

La porosidad total, obtenida a partir de la densidad aparente, presenta desde ya valores y tendencias inversos a las referidas más arriba. De estos resultados podría resaltarse en la Figura N° 29 que el perfil de La Paz presenta en los horizontes superficiales los mayores valores alrededor del 60% y los perfiles de Los Hornos y Castelar alrededor del 55%. Los tres perfiles presentan valores y tendencias en profundidad muy parecidas entre sí, con una porosidad total que oscila alrededor del 53% en los horizontes Bt.

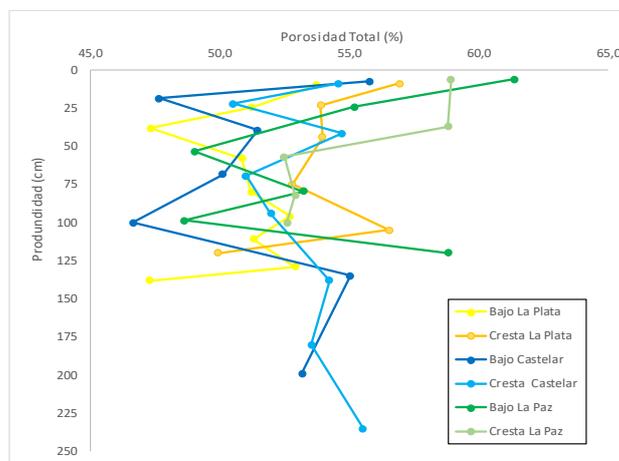


Figura N° 28 - Variación de la porosidad total con la profundidad en los suelos estudiados.

Respecto al porcentaje de macroporos (Figura N° 29 y Tabla N° 4), y con la salvedad del sector bajo del perfil de La Paz en los horizontes superficiales, resulta notorio que los suelos presentan variaciones verticales similares. En este sentido los valores máximos corresponden a los horizontes A (alrededor del 15 y 20%, con la excepción bajo La Paz 28%), mínimos en los horizontes Bt (inferiores a 5 %).

El en los tres perfiles se observó una variación vertical del porcentaje de macroporos, con valores máximos en los horizontes A y mínimos en los Bt y BC. Esto hace presuponer que el incremento de arcilla de carácter expansiva en el Bt ha favorecido la disminución de poros de mayor tamaño.

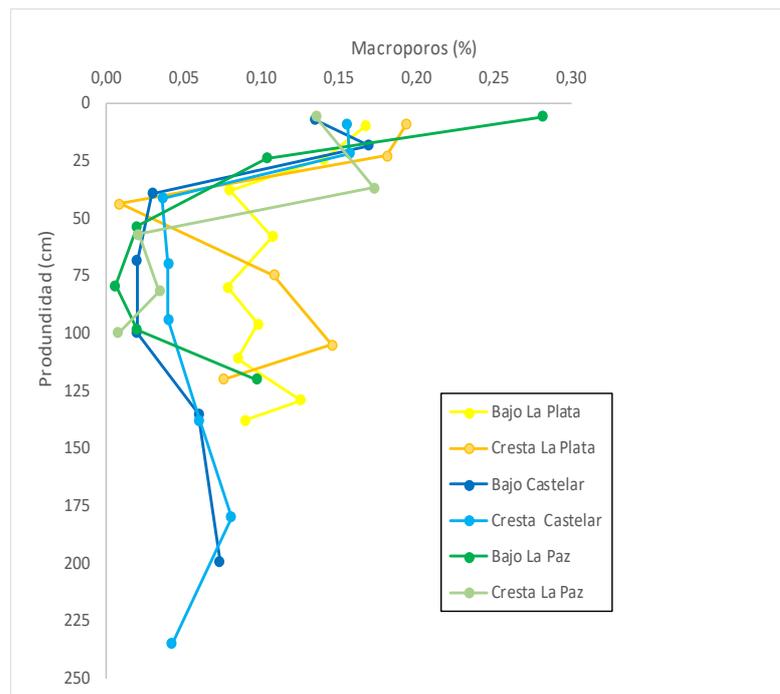


Figura N° 29- Variación del porcentaje de macroporos con la profundidad de los suelos estudiados.

Bajo del Perfil de Los Hornos			Cresta del Perfil de Los Hornos		
Horizonte	Profundidad	Macroporos	Horizonte	Profundidad	Macroporos
A1	0 a 19 cm	16,74	A1	0 a 18 cm	19,41
A2	19 a 30 cm	14,06	A2	18 a 28 cm	18,16
BA	30 a 46 cm	7,99	BA	28 a 60 cm	0,88
Btss1	46 a 70 cm	10,74	Bt1	60 a 90 cm	10,86
Btss2	70 a 90 cm	7,84	BC1	90 a 120 cm	14,58
Btss3	90 a 102 cm	9,83	BC2	120 cm a +	7,57
BC1	102 a 120 cm	8,53			
BC2	120 a 138 cm	12,57			
2Ck	138 cm a +	9,02			
Bajo del Perfil de Castelar			Cresta del Perfil de Castelar		
Horizonte	Profundidad	Macroporos	Horizonte	Profundidad	Macroporos
Ap	0 a 15 cm	13,50	Ap	0 a 18 cm	15,58
A	15 a 22 cm	16,99	A	18 a 26 cm	15,69
Bt	22 a 57 cm	3,00	Bt	26 a 57 cm	3,65
Btss1	57 a 80 cm	2,00	Btss1	57 a 82 cm	4,00
2Btss2	80 a 120 cm	2,00	Btss2	82 a 106 cm	4,00
2Btk1	120 a 150 cm	6,00	2Btssk	106 a 170 cm	6,03
2Btk2	150 a 248 cm	7,34	2Bck	170 a 190 cm	8,10
			3Btk	190 a 280 cm	4,27
Bajo del Perfil de La Paz			Cresta del Perfil de La Paz		
Horizonte	Profundidad	Macroporos	Horizonte	Profundidad	Macroporos
A1	0 a 12 cm	28,19	A1	0 a 12 cm	13,58
Bt1	12 a 36 cm	10,38	AC1kss	12 a 42 cm	17,28
Bt2	36 a 71 cm	2,00	AC2Kss	42 a 73 cm	2,09
Bkss	71 a 88 cm	0,59	C1Kss	73 a 91 cm	3,45
Bckss	88 a 109 cm	2,00	C2k	91 cm a +	0,80
Ckss	109 cm a piso	9,74			

Tabla N° 4 – Porcentaje de macroporos en los horizontes de los suelos estudiados.

Respecto al porcentaje de mesoporos (Figura N° 30 y Tabla N° 5), y con la salvedad de los notorios incrementos en los horizontes superficiales en el bajo y la cresta del perfil de La Paz, es evidente su baja variación hasta la profundidad de 1 metro cuando vuelven a aumentar con aparición de los horizontes BC. Por otra parte, se observa que estos se separan en dos grupos en función de la proporción de mesoporos: La Paz presentan porcentajes que oscilan entre 13 y 20 %, mientras que en los otros dos suelos dicho valor está alrededor del 7%.

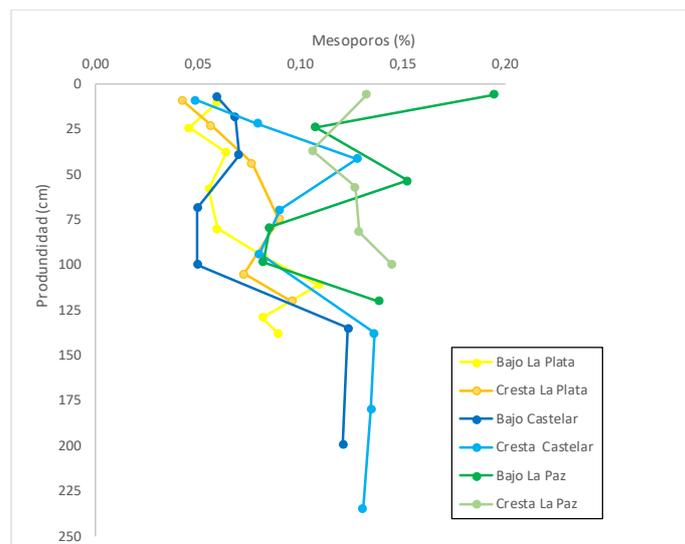


Figura N° 30 - Variación del porcentaje de mesoporos con la profundidad de los suelos estudiados.

Bajo del Perfil de Los Hornos			Cresta del Perfil de Los Hornos		
Horizonte	Profundidad	Mesoporos	Horizonte	Profundidad	Mesoporos
A1	0 a 19 cm	5,94	A1	0 a 18 cm	4,25
A2	19 a 30 cm	4,59	A2	18 a 28 cm	5,63
BA	30 a 46 cm	6,39	BA	28 a 60 cm	7,64
Btss1	46 a 70 cm	5,55	Bt1	60 a 90 cm	8,99
Btss2	70 a 90 cm	5,96	BC1	90 a 120 cm	7,27
Btss3	90 a 102 cm	8,27	BC2	120 cm a +	9,60
BC1	102 a 120 cm	10,91			
BC2	120 a 138 cm	8,18			
2Ck	138 cm a +	8,92			
Bajo del Perfil de Castelar			Cresta del Perfil de Castelar		
Horizonte	Profundidad	Mesoporos	Horizonte	Profundidad	Mesoporos
Ap	0 a 15 cm	5,95	Ap	0 a 18 cm	4,89
A	15 a 22 cm	6,82	A	18 a 26 cm	7,93
Bt	22 a 57 cm	7,00	Bt	26 a 57 cm	12,78
Btss1	57 a 80 cm	5,00	Btss1	57 a 82 cm	9,00
2Btss2	80 a 120 cm	5,00	Btss2	82 a 106 cm	8,00
2Btk1	120 a 150 cm	12,35	2Btssk	106 a 170 cm	13,63
2Btk2	150 a 248 cm	12,09	2BCk	170 a 190 cm	13,45
			3Btk	190 a 280 cm	13,06
Bajo del Perfil de La Paz			Cresta del Perfil de La Paz		
Horizonte	Profundidad	Mesoporos	Horizonte	Profundidad	Mesoporos
A1	0 a 12 cm	19,47	A1	0 a 12 cm	13,24
Bt1	12 a 36 cm	10,76	AC1kss	12 a 42 cm	10,59
Bt2	36 a 71 cm	15,25	AC2Kss	42 a 73 cm	12,68
Bkss	71 a 88 cm	8,51	C1Kss	73 a 91 cm	12,89
BCKss	88 a 109 cm	8,18	C2k	91 cm a +	14,49
Ckss	109 cm a piso	13,83			

Tabla N° 5 – Porcentaje de mesoporos en los horizontes de los suelos estudiados.

La distribución vertical de microporos (Figura N° 31 y Tabla N° 6), es similar en los distintos suelos, y en general de sentido inverso a la distribución vertical de los macroporos. Así, esta propiedad obtiene mayores valores en los horizontes Bt, siendo estos máximos en la cresta de Los Hornos y en el bajo de Castelar, intermedio en bajo y cresta de La Paz, cresta de Castelar y bajo de Los Hornos.

Finalmente, la microporosidad a partir de los 100 cm es similar en los tres perfiles estudiados oscilando entre un 35 y 40 %.

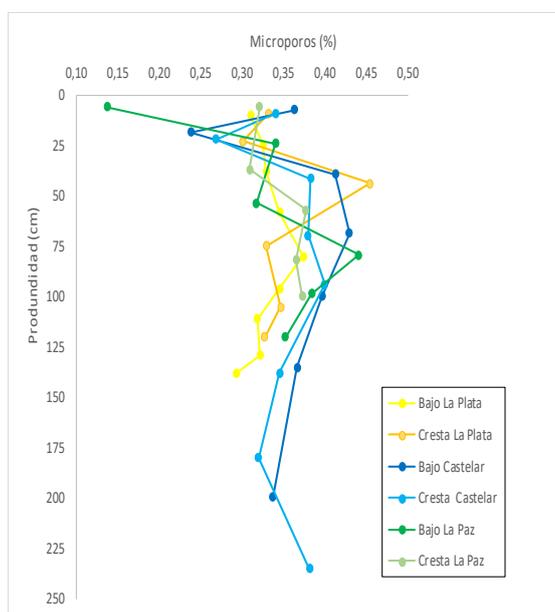


Figura N° 31 - Variación del porcentaje de microporos con la profundidad de los suelos estudiados.

Bajo del Perfil de Los Hornos			Cresta del Perfil de Los Hornos		
Horizonte	Profundidad	Microporos	Horizonte	Profundidad	Microporos
A1	0 a 19 cm	31,05	A1	0 a 18 cm	33,26
A2	19 a 30 cm	32,56	A2	18 a 28 cm	30,10
BA	30 a 46 cm	32,94	BA	28 a 60 cm	45,45
Btss1	46 a 70 cm	34,56	Bt1	60 a 90 cm	32,95
Btss2	70 a 90 cm	37,40	BC1	90 a 120 cm	34,68
Btss3	90 a 102 cm	34,59	BC2	120 cm a +	32,76
BC1	102 a 120 cm	31,87			
BC2	120 a 138 cm	32,17			
2Ck	138 cm a +	29,36			
Bajo del Perfil de Castelar			Cresta del Perfil de Castelar		
Horizonte	Profundidad	Microporos	Horizonte	Profundidad	Microporos
Ap	0 a 15 cm	36,35	Ap	0 a 18 cm	34,12
A	15 a 22 cm	23,86	A	18 a 26 cm	26,91
Bt	22 a 57 cm	41,32	Bt	26 a 57 cm	38,28
Btss1	57 a 80 cm	43,00	Btss1	57 a 82 cm	38,00
2Btss2	80 a 120 cm	39,66	Btss2	82 a 106 cm	39,96
2Btk1	120 a 150 cm	36,69	2Btssk	106 a 170 cm	34,58
2Btk2	150 a 248 cm	33,73	2Bck	170 a 190 cm	31,97
			3Btk	190 a 280 cm	38,19
Bajo del Perfil de La Paz			Cresta del Perfil de La Paz		
Horizonte	Profundidad	Microporos	Horizonte	Profundidad	Microporos
A1	0 a 12 cm	13,70	A1	0 a 12 cm	32,11
Bt1	12 a 36 cm	34,04	AC1kss	12 a 42 cm	30,94
Bt2	36 a 71 cm	31,77	AC2Kss	42 a 73 cm	37,73
Bkss	71 a 88 cm	44,12	C1Kss	73 a 91 cm	36,56
BCkss	88 a 109 cm	38,46	C2k	91 cm a +	37,31
Ckss	109 cm a piso	35,26			

Tabla N° 6 – Porcentaje de microporos en los horizontes de los suelos estudiados.

## 5.7 Resultados de Contracción-Expansión

El coeficiente de extensibilidad lineal (COLE), es un parámetro que permite caracterizar la magnitud del proceso de expansión-contracción del suelo y expresa su capacidad de cambiar de volumen.

De acuerdo a lo observado en la Figura N° 32 y la Tabla N° 7, 8 y 9 los horizontes A de la cresta y bajo del perfil de La Paz presentó un valor de COLE cercano a 20, expresando una capacidad de expansión-contracción muy alta, mientras que los restantes horizontes A de los perfiles de Los Hornos y Castelar tuvieron valores menores entre 5 y 10, y por lo tanto una capacidad de cambio de volumen moderada y alta

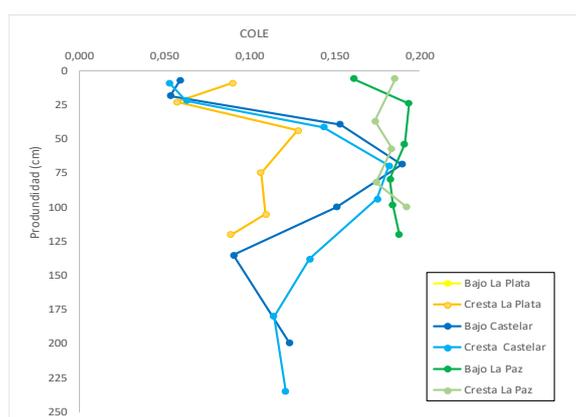


Figura N° 32 - Variación del COLE con la profundidad de los suelos estudiados.

Bajo del Perfil de Los Hornos			
Horizonte	Profundidad	COLE *100 (cm/cm)	Clase de Expansión-Contracción
A1	0 a 19 cm	9,47	Muy alta
A2	19 a 30 cm	4,91	Moderada
BA	30 a 46 cm	9,07	Alta
Btss1	46 a 70 cm	9,60	Muy alta
Btss2	70 a 90 cm	10,10	Muy alta
Btss3	90 a 102 cm	11,96	Muy alta
BC1	102 a 120 cm	9,95	Muy alta
BC2	120 a 138 cm	9,87	Muy alta
2Ck	138 cm a +	5,87	Moderada
Cresta del Perfil de Los Hornos			
Horizonte	Profundidad	COLE *100 (cm/cm)	Clase de Expansión-Contracción
A1	0 a 18 cm	9,0172	Alta
A2	18 a 28 cm	5,7242	Moderada
BA	28 a 60 cm	12,8412	Muy alta
Bt1	60 a 90 cm	10,6546	Muy alta
BC1	90 a 120 cm	10,9639	Muy alta
BC2	120 cm a +	8,9186	Alta

Tabla N° 7 - Variación del COLE con la profundidad de los distintos horizontes del bajo y de la cresta del perfil de Los Hornos y su respectiva clasificación según Soil Survey Staff (1997) (citado por Thomas *et al.* 2000)

De acuerdo a lo observado en la Figura N° 32 y la Tabla N° 7,8 y 9 los horizontes Bt y BC de los tres perfiles presentaron todos valores de COLE mayor a 9, expresando una capacidad de expansión-contracción muy alta.

<b>Bajo del Perfil de Castelar</b>			
Horizonte	Profundidad	COLE *100 (cm/cm)	Clase de Expansión-Contracción
Ap	0 a 15 cm	5,925	Moderada
A	15 a 22 cm	5,361	Moderada
Bt	22 a 57 cm	15,337	Muy alta
Btss1	57 a 80 cm	18,943	Muy alta
2Btss2	80 a 120 cm	15,093	Muy alta
2Btk1	120 a 150 cm	9,070	Alta
2Btk2	150 a 248 cm	12,333	Muy alta
<b>Cresta del Perfil de Castelar</b>			
Horizonte	Profundidad	COLE *100 (cm/cm)	Clase de Expansión-Contracción
Ap	0 a 18 cm	5,295	Moderada
A	18 a 26 cm	6,284	Alta
Bt	26 a 57 cm	14,358	Muy Alta
Btss1	57 a 82 cm	18,201	Muy Alta
Btss2	82 a 106 cm	17,492	Muy Alta
2Btssk	106 a 170 cm	13,531	Muy Alta
2Bck	170 a 190 cm	11,429	Muy Alta
3Btk	190 a 280 cm	12,130	Muy Alta

Tabla N° 8 - Variación del COLE con la profundidad de los distintos horizontes del bajo y de la cresta del perfil de Castelar y su respectiva clasificación según Soil Survey Staff (1997) (citado por Thomas *et al.* 2000)

A su vez observando la Figura N° 32 y la Tabla N° 7, 8 y 9 encontramos que los horizontes más profundos de los perfiles de Los Hornos, Castelar y La Paz presentaron valores de COLE mayor a 9, expresando una capacidad de expansión-contracción muy alta

Bajo del Perfil de La Paz			
Horizonte	Profundidad	COLE *100 (cm/cm)	Clase de Expansión-Constracción
A1	0 a 12 cm	16,112	Muy alta
Bt1	12 a 36 cm	19,351	Muy alta
Bt2	36 a 71 cm	19,107	Muy alta
Bkss	71 a 88 cm	18,260	Muy alta
BCkss	88 a 109 cm	18,398	Muy alta
Ckss	109 cm a piso	18,804	Muy alta
Cresta del Perfi de La Paz			
Horizonte	Profundidad	COLE *100 (cm/cm)	Clase de Expansión-Constracción
A1	0 a 12 cm	18,533	Muy alta
AC1kss	12 a 42 cm	17,385	Muy alta
AC2Kss	42 a 73 cm	18,353	Muy alta
C1Kss	73 a 91 cm	17,428	Muy alta
C2k	91 cm a +	19,225	Muy alta

Tabla N° 9 - Variación del COLE con la profundidad de los distintos horizontes del bajo y de la cresta del perfil de La Paz y su respectiva clasificación según Soil Survey Staff (1997) (citado por Thomas *et al.* 2000

La extensibilidad lineal es una variable utilizada para la caracterización de las propiedades de expansión-contracción de los suelos (Holmgreen, 1968). El COLE no indica orientación por lo que puede ser usado para estimar al espacio de grietas verticales (Grossman *et al.*, 1968). En cambio, el cálculo de la extensibilidad lineal asume la misma extensibilidad a lo largo de los ejes horizontal y vertical (Grossman *et al.*, 1968)

Esta propiedad se utiliza como criterio de clasificación de suelos. Así, según lo que establece la Taxonomía de Suelos (Keys to Soil Taxonomy, 2010) existen dos criterios para definir los subgrupos vérticos: 1- el desarrollo de grietas y caras de fricción, con ciertas características que en la Taxonomía se detallan, o 2-una extensibilidad lineal de 6 cm o más entre la superficie del suelo y una profundidad de 100 cm.

Resulta interesante constatar que los suelos de Los Hornos y Castelar fueron clasificados como Argiudol vérticos. Como puede constatare en la Tablas N° 10, resulta también interesante notar que este criterio para integrar un subgrupo vértico es cumplido ampliando por los valores de ambos perfiles siendo los mismos muy cercanos a los

valores del perfil de La Paz es cual pertenece a la familia de los Vertisoles como se observa en la misma tabla.

Bajo del Perfil de Los Hornos			Bajo del Perfil de Castelar			Bajo del Perfil de La Paz		
Horizonte	Profundidad	Extensibilidad Lineal	Horizonte	Profundidad	Extensibilidad Lineal	Horizonte	Profundidad	Extensibilidad Lineal
A1	0 a 19 cm	9,31	Ap	0 a 15 cm	14,01	A1	0 a 12 cm	18,58
A2	19 a 30 cm		A	15 a 22 cm		Bt1	12 a 36 cm	
BA	30 a 46 cm		Bt	22 a 57 cm		Bt2	36 a 71 cm	
Btss1	46 a 70 cm		Btss1	57 a 80 cm		Bkss	71 a 88 cm	
Btss2	70 a 90 cm		2Btss2	80 a 120 cm		BCKss	88 a 109 cm	
Btss3	90 a 102 cm		2Btk1	120 a 150 cm		Ckss	109 cm a piso	
BC1	102 a 120 cm		2Btk2	150 a 248 cm				
BC2	120 a 138 cm							
2Ck	138 cm a +		Cresta del Perfil de Castelar					
			Horizonte	Profundidad	Extensibilidad Lineal	Cresta del Perfil de La Paz		
Cresta del Perfil de Los Hornos			Ap	0 a 18 cm	13,61	Horizonte	Profundidad	Extensibilidad Lineal
Horizonte	Profundidad	Extensibilidad Lineal	A	18 a 26 cm		A1	0 a 12 cm	18,00
A1	0 a 18 cm	10,60	Bt	26 a 57 cm		AC1kss	12 a 42 cm	
A2	18 a 28 cm		Btss1	57 a 82 cm		AC2Kss	42 a 73 cm	
BA	28 a 60 cm		Btss2	82 a 106 cm		C1Kss	73 a 91 cm	
Bt1	60 a 90 cm		2Btssk	106 a 170 cm		C2k	91 cm a +	
BC1	90 a 120 cm		2BCk	170 a 190 cm				
BC2	120 cm a +		3Btk	190 a 280 cm				

Tabla N° 10 - Valores de Extensibilidad Lineal del bajo y de la cresta de los perfiles de Los Hornos, Castelar y La Paz

## CONCLUSIONES

- 1) *La presencia de la estructura diapírica en los suelos seleccionados de la Pampa Ondulada estaría indicando que la presencia del mismo material parental presente en los Vertisoles.*
- 2) *El estudio efectuado en los Argiudoles verticos seleccionados de la Pampa Ondulada ha puesto en evidencia su desarrollo a partir de distintos sedimentos loessicos diferenciados en su granulometría.*
- 3) *El análisis mineralógico de la fracción arcilla de los suelos de la Pampa Ondulada muestra la presencia de illita en los horizontes superficiales y esméctica en los horizontes Bt.*
- 4) *El estudio de la mineralogía magnética de los suelos de la Pampa Ondulada a través del análisis de la susceptibilidad magnética ha mostrado diferencias en los horizontes superficiales y subsuperficiales atribuibles a la composición litogénica.*
- 5) *Además de las diferencias de susceptibilidad magnética de origen litogénico entre los materiales parentales de los suelos, en todos los perfiles se constató un incremento similar de la susceptibilidad magnética en el techo del horizonte Bt, que sería de origen pedogenético y cuya intensidad estaría relacionada con el comportamiento hídrico interno de los suelos*

6) *Los Argiudoles vérticos presentan valores de Extensibilidad lineal muy por encima de su clasificación como vérticos y muy similares a los valores que presentan los Vertisoles lo cual se debería reconsiderar la utilización de este parámetro para describir las propiedades de los Argiudoles vérticos.*

## CONCLUSIONS

- 1) *The presence of the diapiric structure in the selected soils of the Rolling Pampas would be indicating that the presence of the same parental material present in the Vertisols.*
- 2) *The study carried out on the selected vertical Argiudols of the Rolling Pampa has evidenced their development from different loessic sediments differentiated in their granulometry.*
- 3) *The mineralogical analysis of the clay fraction of the Rolling Pampa soils shows the presence of illite in the superficial horizons and smectic in the Bt horizons.*
- 4) *The study of the magnetic mineralogy of the Rolling Pampa soils through the analysis of magnetic susceptibility has shown differences in the superficial and subsuperficial horizons attributable to the lithogenic composition.*
- 5) *In addition to the differences in magnetic susceptibility of lithogenic origin between the parent soils materials, a similar increase in magnetic susceptibility was found in all profiles at the top of the Bt horizon, which would be of pedogenetic origin and whose intensity would be related to the internal water behavior of soils.*

6) *Vertic Argiudols present linear extensibility values well above their classification as vertic and very similar to the values presented by Vertisols, which should reconsider the use of this parameter to describe the properties of Vertic Argiudols*

## BIBLIOGRAFIA

- Abdullah, WS; MS Al-Zou`bi & KA Alshhibli. 1999. Influence of pore water chemistry on the swelling behavior of compacted clays. *Applied Clay Science* 15, 447-462.
- Allbrook, RF. 1992. Shrinkage of some New Zealand soils and its implications for soil physics. *Aust. J. Soil Res.* 31:111-118.
- Alvarez, R & RS Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83:127-141.
- Anderson, JL & J Bouma. 1977a. Water movement through Pedal soils: I Saturated flow. *Soil Sci Soc. Am. J.* 41:413-418.
- Anderson, JL & J Bouma. 1977b. Water movement through Pedal soils: II Unsaturated flow. *Soil Sci Soc. Am. J.* 41: 419-423.
- Atterberg, A. 1911. Die Plastizität der Tone. Internationale Mitteilungen fuer Bodenkunde 1, 10-43.
- Baize, D. 2000. Guide des analyses en pédologie. INRA Editions
- Barreira, E & H Lopez Dominguez. 1970. Fósforo ligado al aluminio de hierro y calcio en perfiles de suelo de la región pampeana húmeda. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Serie 3 VII (2), 127-132.
- Bartel, A; JC Bidegain & A Sinito. 2005. Propiedades magnéticas de diferentes suelos del Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geo. Ar.*, 60: 591-598.
- Bartel, A. 2009. Caracterización magnética de una climosecuencia de suelos entre el sureste de la Provincia de La Pampa y el Litoral Atlántico, *PhD Thesis*, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahia Blanca, Argentina, 259 p.

- Baumer, OW & BR Brasher. 1982. Prediction of water content at selected suctions. *Am. Soc. Agri. Eng. Paper* 82-2590.
- Bear, J .1972. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Elsevier, N.Y.
- Beroya, MAA; A Aydin & R Katsenbach. 2009. Insight into the effects of clay mineralogy on the cyclic behavior of silt-clay mixtures. *Engineering Geology* 106: 154-162
- Bertoldi de Pomar, H. 1969. Notas preliminares sobre la distribución de minerales edafógenos en la provincia de Santa fe. *Actas V Reun. Arg. Ciencia del suelo*, Santa Fe, pp.716-726.
- Beven, K & P German. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Res.Res.*, 18:1311-1325.
- Bidart, S. 1992. *Actas Cuarta Reunión Argentina de Sedimentología*, Tomo II: 159-166
- Blake, G & K Hartge. 1986b. In: Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. SSSA, Madison, Wisconsin, secon edition. 1188 pp.
- Bouma, J. 1991. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Advances in Agronomy* 46:1-37.
- Brady, NC & RR Weil. 2002. *The nature and Properties of Soil*. 13<sup>th</sup> ed. Springer Netherlands, 249.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremmer, JM. 1960. Determination or nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agr. Sci.* 55:1-23.
- Briggs, LJ & JW Mc Lane. 1907. *USDA Soils Bull.* N° 45

- Brindley, GW & G Brown. 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Mineralogical Society*: 507 p.
- Bronick, CJ & R Lal. 2004. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124:3-22.
- Brooks, RH & AT Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper 3. Colorado State University, Fort Collins.
- Bruand, A & D Tessier. 2000. Water retention properties of the clay in soils developed on clayey sediments: significance of parental material and soils history. *European Journal of Soil Science*, 51: 679-688.
- Bultel, F. 2001. Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels. Ph.D. Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- Burke, IC; CM Yorker; WJ Parton; CV Cole; K Flack; & DS Schimel. 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in United States grassland soils. *Soil Sci. Am. J.* 53: 800-805.
- Buschiazzo, DE; AR Quiroga & K Stahr. 1991. Patterns of organic matter accumulation on soils of the Semiarid Argentinean Pampas. *Z. Pflanzenerähr. Bodenkd.* 154: 437-441.
- Camilion, M. 1993. Clay mineral composition of Pampean loess (Argentina). *Quaternary International*, vol. 17: 27-31.
- Campbell, G. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Science*, 117:311–314.-Casagrande, A. 1932. Research of Atterberg limits of soils. *Public Roads* Vol.13, N° 8: 121-136.
- Castiglioni, M; H Morrás; O Santanatoglia & M V Altinier. 2004-a. Análisis de la contracción de agregados de distintos horizontes de Argiudoles de la Pampa Ondulada. *Actas XVIII Congreso Arg. Cien. del Suelo, Paraná*, (editado en CD).

- Castiglioni, M; H Morrás; O Santanatoglia & MV Altinier. 2005-a. Movimiento de agua en el suelo y su vinculación con algunas propiedades de diferentes Argiudoles de Pampa Ondulada. *Actas XX Congreso Argentino del Agua, San Luis* (editado en CD).
- Castiglioni, M; H Morrás; O Santanatoglia & M V Altinier. 2005-b. Contracción de agregados de Argiudoles de la Pampa Ondulada diferenciados en su mineralogía de arcillas. *Ciencia del Suelo*, 23 (1): 13-22.
- Castiglioni, M. 2005. Influencia de la organización y composición del espacio poroso y la matriz en la dinámica hídrica de distintos Argiudoles de Pampa Ondulada. *Tesis para optar por el Magíster de la Universidad de Buenos Aires. Área Ciencias del Suelo. Biblioteca de la Escuela para Graduados Alberto Soriano. FAUBA.*
- Conti, M; L Barberis & E Chamorro. 1976. Estado del fósforo en suelos de Entre Ríos, Buenos Aires y Santa Fé. *Actas VII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. IDIA, Suplemento (33), 62-68.*
- Coulombe, CE; LP Wilding & JB Dixon. 1996. Overview of Vertisols: Characteristics and impacts on society. *Adv. Agron.* 57: 289-375.
- Cruzate G & HJM Morrás. 2000. Contribución del limo a la capacidad de intercambio catiónico en el material parental de los suelos del norte de la región pampeana. *Actas XVII Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, (editado en CD).*
- Damiano, F; RA Diaz & MO Grondona. 1996. Evaluación de una función uniparamétrica para la estimación de la curva de retención de agua en suelos agrícolas. *Actas del XVI Congreso Nacional del Agua. San Martín de los Andes. Argentina. Trabajo N° 148.*
- Damiano, F & M Taboada. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedo-transferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, 18(2):77-88.

- Danielson, R & P Sutherland. 1986. Porosity. In: Klute, A. 1986. Methods of soil analysis. *Physical and mineralogical methods*. SSSA, Madison, Wisconsin, second edition. 1188 p.
- Darwich, N. 1983. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos. *IDIA* n (409-412), 1-5.
- Dasog, GS & GB Shashidhara. 1993. Dimension and volume of cracks in a vertisol under different crop covers. *Soil science* 156(6):424-428.
- De Jong, E; LM Kozak & HB Stonehouse. 1992. Comparison of shrink-swell indices of some Saskatchewan soils and their relationships to standard soil characteristics. *Can J. Soil Sci.* 72: 429-439.
- Dexter, AR. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage Res.* 11:199-238.
- Dontsova, K M; L D Norton; C T Johnston & J M Bigham. 2004. Influence of Exchangeable Cations on Water Adsorption by Soil Clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1218-1227.
- Duran, A; H Morras; G Studdert & Lui Xiaobing. 2011. Distribution, Properties, Land Use and Management of Mollisols in South America. *Chin. Geogr. Sci.* 21 (3).
- Ehlers, W; O Wendroth & F de Mol. 1995. Characterizing pore organization by soil physical parameters. In: Hartge, KH; Stewart BA (Eds.), *Soil Structure-Its Development and Function*. *Adv. Soil Sci.* 257-275.
- Etchichury, M & O Tofalo. 2004. Mineralogía de arenas y limos en suelos, sedimentos fluviales y eólicos actuales del sector austral de la cuenca Chaco-paranaense. Regionalización y áreas de aporte. *Rev. De la Asoc. Geol. Argentina*, 59(2):317-329.

- Favre, F; P Boivin & MCS Wopereis. 1997. Water movement and soil swelling in a dry, cracked Vertisol. *Geoderma* 78:113-123.
- Farrar, DM & JD Coleman. 1967. The correlations of surface area with other properties of nineteen British clay soils. *J. Soil Sci.* 18:118-124.
- Fies, J & P Stengel. 1981. Densité texturale des sols naturels. I. *Methodes de mesurew, Agronomie* 1(8): 655-659.
- Gaiser, T ; F Graef & J Carvalho Cordeiro. 2000. Water retention characteristics of soils with contrasting clay mineral composition in semi-arid tropical regions. *Aust. J. Soil Res.* 38 :523-536.
- Gee, GW & JW Bauder. 1986. Particle-size Analysis; *In: Methods of Soil Analysis, Part 1º, Physical and Mineralogical Methods* (Klute and Arnold ed.) pp. 2<sup>nd</sup> ed. *Amer. Soc. Agr., Soil Sci. Soc.* Amer. Madison, Wisconsin, USA.
- Goldberg, S; DL Suarez & RA Glaubig. 1988. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soils. *Soil Science* 146, 317-325.
- Gonzalez Bonorino, F. 1966. Soil clay mineralogy of the Pampa plains, Argentina. *J. of Sed. Petrology*, 36(4):1026-1035
- González Uriarte, M & E Muro. 1998. Relaciones geomorfología – suelos en los paisajes del centro-oeste de la provincia de Buenos Aires. *Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 16. p. 313-314.
- Grabowska-Olszewska, B. 2003. Modelling physical properties of mixtures of clays; example of two-component mixture of kaolinite and montmorillonite. *Applied Clay Science*. 22, 251-259.
- Gray, CW & R Allbrook. 2002. Relationships between shrinkage indices and soil properties in some New Zealand soils. *Geoderma* 108:287-299.

- Green, WH. & G Ampt. 1911. Studies of Soil Physics, Part I – The Flow of Air and Water Through Soils. *Journal of Agricultural Science*, 4: 1-24 pp.
- Greenland, DJ. 1977. Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent?. *Phil Trans. Royal Soc. London* 281:193-208.
- Greenland, D & J Mott. 1978. Surface of soil particles. En: The chemistry of soil constituents (Greenland y Hayes, Eds.) *John Wiley & Sons*, pp.321-353.
- Grossman, R; B Brasher; D Franzmeier & J Walker. 1968. Linear extensibility as calculated from natural-clod bulk density measurements. *SSSam. Proceedings*, 32:570-573
- Gupta, RD; PD Sharma; CL Acharya & BR Tripathi. 1983. Water retention characteristics of some soil profiles of north-west India in relation to soil properties under different bio- and climo-sequences. *Journal of Indian Society of Soil Science* 31:458-463.
- Hammel, JE; ME Sumner & J Burema. 1983. “Atterberg limits as indices of external surface areas of soils”. *Soil Sci. Soc. Am J.* 47 :1054-1056.
- Hartmann, R. 2003. Soil water potential-soil water retention. *College on Soil Physics. Trieste Italy*. 3 al 21 de marzo de 2003. [www.agenda.ictp.trieste.it/agenda/](http://www.agenda.ictp.trieste.it/agenda/)
- Haynes, RJ & R Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51, 123-137.
- Holmgren, GGS. 1968. Nomographic calculation of linear extensibility in soils containing coarse fragments. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 32: 568-570.
- Imbellone, P & M Teruggi. 1993. Paleosols in loess deposits of the Argentine Pampa. *Quaternary International*, 17: 49-56.

- INTA. 1966-1967. Colección: Cartas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:50.000. CIRN, INTA, Buenos Aires. <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/>
- INTA. 1983. Cartas de Suelos de la República Argentina. Arroyo Seco Provincia de Santa Fé. Escala 1:50.000. CIRN, INTA, Buenos Aires.
- INTA. 1980. Mapa Detallado de Suelos de la Experimental Agropecuaria Oliveros. Publicado por INTA Rafaela.
- INTA-SAGyP., 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina, Buenos Aires.
- Iñiguez, A & C Scoppa. 1970. Los minerales de arcilla en los suelos zonales ubicados entre los ríos Paraná y Salado (Prov. De Buenos Aires). *RIA*, serie 3, vol. VII (1): 1-41.
- Iriondo, M & D Kröhling. 1995. Comunicaciones. Museo Prov. F.Ameghino, 5(1), 68 pp.
- Iriondo, M & D Kröhling. 1996. Los sedimentos eólicos del noroeste de la llanura pampeana. *Actas XIII Congr. Geológico Argentino*. Tomo IV: 27-48.
- Jury, WA; WR Gardner & VH Gardner. 1991. The soil solid phase. Ed John Wiley y Sons, Inc. *Soil Physics*. Capitulo 1 (1-33). Total paginas 327.
- Klute, A & C Dirksen. 1986. In: Klute, A., 1986. Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, second edition. 1188 pp.
- Keys to Soil Taxonomy. 2010. Eleven edition. Soil Survey Division. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Lin, HS; KJ McInnes; LP Wilding & CT Hallmark. 1996. Effective porosity and flow rate with infiltration at low tensions into a well structured subsoil. *Trans. of the ASAE* 39(1): 131-133.
- Lipiec, J; J Kus; A Slowinska-Jurkiewicz & A Nosalewicz. 2006b. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Till. Res.* 89,210-220.

- Liu, Q; J Torrent; H Morras; A Hong; Z Jiang & Y Su. 2010. Superparamagnetism of two modern soils from the northeastern Pampean region, Argentina and its paleoclimatic indications. *Geophys. J. Int.* 183, 695-705.
- Kutilek M. 1973. The influence of soil minerals and exchangeable cations on soil moisture potential. In X Hadas et al.(Eds.) *Physical Aspects of Soil Water and Salts in Ecosystems*. Springer-Verlag, New York.
- Kutilek, M. 1996. Water relations and water management of Vertisols. In: N.Ahmad and A.Mermut (Ed) *Vertisols and technologies for their management*. Cap 6. pp 201-230.
- Kutilek, M. 2004. Soil hydraulic properties as related to soil structure. *Soil Till. Res.* 86,27-37.
- Marquez, CG. 1985. Propiedades ingenieriles de los suelos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín. 243 p.
- Martel, YA; CR De Kimpe & MR Laverdiere. 1978. Cation exchange capacity of clay-rich soils in relation to organic matter, mineral composition, and surface area. *Soil Science Society of America Journal* 42: 764-767.
- Mc Garry, D & KW Malafant. 1987. The analysis of volume change in unconfined units of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 290-297.
- Means, RE & JV Parcher. 1965. Plasticity. In *Physical properties of soils*. Prentice-Hall of India Ltd. Pags. 68-84.
- Morari, F & WG Knisel. 1997. Modifications of the Gleams model for crack flow. *Trans of the ASAE* 40(5):1337-1348.
- Morrás, H; J Postma; M Rapp & C Scoppa. 1980. Mineralogía de arcillas de algunos suelos del norte de la provincia de Santa Fe. Actas IX Reunion Arg. Ciencia del Suelo, Paraná, 1980, Vol. III, pp.1185-1191.

- Morrás, H & L Candiotti. 1981. Relación entre permeabilidad, ciertos caracteres analíticos y situación topográfica en algunos suelos de los bajos Submeridionales. *Rev. de Investig. Agrop.*, XVI (1):23-32.
- Morrás, H; D Robert & G Bocquier. 1982. Caracterisation minéralogique de certains sols salsodiques et planosoliques du “Chaco Deprimido”. *Cah. ORSTOM, Sér Pédol.*, XIX (2): 151-169.
- Morrás, H. 1983. Interrelación de las características pedológicas y los procesos hidrológicos en los Bajos Submeridionales. *I Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras* (CONAPHI-UNESCO), Olavarría (Arg.), Vol. III, pp. 1338-1348.
- Morrás, H & M Delaune.1985. Caracterización de áreas sedimentarias del norte de la provincia de Santa Fe en base a la composición mineralógica de la fracción arena. *Ciencia del Suelo* 3: 140-151.
- Morrás, H. 1995. Mineralogy and cation exchange capacity of the fine silt fraction in two soils from southern Chaco Region (Argentina). *Geoderma* 64: 281-295.
- Morrás, H. 1996. Composición y evolución de la fracción limo grueso de suelos del Chaco Meridional argentino. *Actas XIII Congr. Geológico Argentino*, Buenos Aires, Vol. IV: 263.
- Morrás, H. 1997. Origen y mineralogía del material parental de los suelos de la región pampeana. Homogeneidad o heterogeneidad? *1º Taller de Sedimentología y Medio Ambiente. Asociación Argentina de Sedimentología*, Buenos Aires, pp.19-20.
- Morrás, H; P Nabel & W Zech. 1998. Identificación de distintos materiales parentales de suelos Argiudoles en un sector de la Pampa Ondulada (Pcia. de Buenos Aires). *Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Carlos Paz, pp. 305-306.

- Morrás, H; W Zech & P Nabel. 1998. Composición geoquímica de suelos y sedimentos loésicos de un sector de la Pampa Ondulada. *Actas, Quintas jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, Vol. I., Mar del Plata, pp. 225-232.
- Morrás, H. 1999. Geochemical differentiation of Quaternary sediments from the Pampean region based on soil phosphorous contents as detected in the early 20<sup>th</sup> century. *Quaternary International*, 62: 57-67.
- Morrás, H. 1999. Composición geoquímica de suelos y sedimentos cuaternarios de un sector del Chaco Meridional. *Actas del 1º Congreso Argentino del Cuaternario y Geomorfología*, Santa Rosa, La Pampa, p. 13.
- Morrás, H & G Cruzate. 2000-a. Clasificación textural y distribución espacial del material originario de los suelos de la Pampa Norte. *Actas XVII Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo*, Mar del Plata, (editado en CD).
- Morrás, H & G Cruzate. 2000-b. Distribución de los sedimentos superficiales en la Región Pampeana Norte (Argentina) a través del análisis de la variación espacial de parámetros físicos y químicos. *Actas II Cong. Latinoam. de Sedimentología*, Mar del Plata, pp.126-127.
- Morrás, H & G Cruzate. 2002. “Origen y distribución del potasio en suelos y sedimentos superficiales de la región Chaco-pampeana”. En: *El potasio en sistemas agrícolas argentinos* (Eds.: Melgar, Magen y Lavado), INTA-IPI, pp.35-42.
- Morrás, H; MV Altinier; M Castiglioni; G Grasticini; G Ciari & G Cruzate. 2002. “Composición mineralógica y heterogeneidad espacial de sedimentos loésicos superficiales en la Pampa Ondulada”. *XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Pto. Madryn, (editado en CD).

- Morrás, H. 2003. Distribución y origen de sedimentos superficiales de la Pampa Norte en base a la mineralogía de arenas. Resultados preliminares. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 10 (1): 53-64.
- Morrás, H; MV Altinier; M Castiglioni & D Tessier. 2004-a. Relación entre la mineralogía de arcillas y la susceptibilidad magnética en tres suelos del sur de la Pampa Ondulada. *Actas XVIII Congreso Arg. Cien.del Suelo*, Paraná, (editado en CD).
- Morrás, H; G Ciari; C Grasticini; G Cruzate; MV Altinier & M Castiglioni. 2004-b. Variación espacial y relación entre la retención de humedad y la mineralogía magnética en suelos de la Pampa Ondulada. *Actas XVIII Congreso Arg. Cien. del Suelo*, Paraná, (editado en CD).
- Moscatelli, G. 1991. “Los suelos de la Región Pampeana “. En: Barsky, O. (Edit.): *El Desarrollo Agropecuario Pampeano*. INDEC - INTA - IICA. Buenos Aires.
- Mullins, CE. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil Science- A review. *Journal of Soil Science*. 28: 223-246.
- Nabel, P; H Morrás; G Petersen& W Zech. 1999. Correlation of magnetic and lithologic features of soils and Quaternary sediments from the Undulating Pampa. *Journal of South America Earth Sciences*, 12: 311-323.
- Nabel, P & F Pereyra. 2000. El paisaje natural bajo las calles de Buenos Aires. *Museo Arg. de Cs. Nat. B. Rivadavia*, 123 p.
- Ogden, CB; HM Van Es; RJ Wagenet & TS Steenhuis. 1999. Spatial -Temporal variability of preferential flow in a clay soil under no-till and plow till. *J.Env.Quality* 28:1264-1273.
- Orgeira, MJ & R Compagnucci. 2006. Correlation between paleosol-soil magnetic signal and climate. *Earth Planet. Space*, 58, 1373-1380.

- Orgeira, MJ; FX Pereyra; C Vazquez; E Castañeda & R Compagnucci. 2008. Rock magnetism in modern soils, Buenos Aires Province, Argentina. *J.South Am. Earth Sci.*, 26, 217-224.
- Pachepsky Ya, A; D Timlin & D Varallyay. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 60:727-733.
- Parker, JC; DF Amos & DL Kaster. 1977. An evaluation of several methods of estimating soil volume change. *Soil Sci. Soc. Am J.* 41 :1059 :1064.
- Pecorari, C; LF Balcaza & E Frutos. 1988. Relaciones empíricas entre contenido de agua, textura y materia orgánica en suelos representativos de la Pampa Ondulada. *Informe técnico N° 222*. EEA Pergamino 32 p.
- Pereyra, F & J Ferrer. 1997. El material originario de los Molisoles de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo*, 15 (2): 87-94.
- Perillo, CA; SC Gupta; EA Nater & JF Moncrief. 1999. Prevalence and initiation of preferential flow paths in a sandy lom with argillic horizon. *Geoderma* 89:307-331.
- Puckett, WE; JH Dane & BF Hajek. 1985. Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. *Soil Sci.Soc. Am.J.* 49:831-836.
- Ratto, S. 2000. Capítulo Agua del Suelo. En: Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos. Editorial Facultad de Agronomía (2° ed) pp 233-268.
- Rawls, WJ; YA Pachepsky; JC Ritchie; TM Sobecki & H Bloodworth. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116:61-76.
- Rawls, WJ; TJ Gish & DL Brakensiek. 1991. Estimating soil water retention from soil physical properties characteristics. *Advances in soil Science*. 16:213-234.

- Rawls, WJ & DL Brakensiek. 1990. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. In: *Unsaturated flow in Hydrologic Modeling*. H.J.Morel – Seytoux (ed.) pp 275-300.
- Read, JW & RH Ridgell. 1921. On the use of the conventional carbon factor in estimating soil organic matter. *Soil Science*, Vol. 13 N°1 1:6.
- Reeve, MJ; DGM Hall & P Bullock. 1980. The effect of soil composition and environmental factors on the shrinkage of some clayey british soils. *Journal of Soil Science* 31:429-442.
- Reitemeier, RF & M Fireman. 1944. Prevention of calcium carbonate precipitation in soil solutions and waters by sodium hexametaphosphate. *Soil. Sci.* 58: 35-41, illus.
- Richards, LA. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66(2):105-110.
- Richards, LA. 1949a. Filter funnels for soils extracts. *Agro. Jour.* 41:446, Illus.
- Robert, M. 1975. Principes de détermination qualitative des minéraux argileux á l`aide des rayons X. *Annales Agronomiques*, vol. 26, n° 4 : 363-399.
- Ross, GJ. 1978. Relationships of specific surface area and clay content to shrink-swell potential of soils having different clay mineralogical compositions. *Can. J. Soil Sci.* 58: 159-166.
- Sainz Rozas, H; H Echeverria & H Angelini H. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la region pampeana y extra pampeana argentina. *Revista RIA vol 38 (1): 33-39.*
- Schoeneberger, PJ; DA Wysocki; EC Benhman & WD Broderson. (Ed) 2002. *Field book for describing and sampling*. Version 2.0. USDA-NRCS, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

- Schulten, HR & P Leinweber. 2000. New insights into organic-mineral particles: composition, properties and models of molecular structure. *Biol. Fertil. Soils* 30, 399-432.
- Scoppa CO & JR Vargas Gil. 1969. Delimitación de sub-zonas geomorfológicas en un sector de la región pampeana y sus relaciones edafogenéticas. *Actas V Reun. Arg. De la Ciencia del Suelo*, Santa Fé, pp. 424-431.
- Scoppa, C. 1976. La mineralogía de los suelos de la llanura pampeana en la interpretación de su génesis y distribución. *Actas VII Reun. Arg. De la Ciencia del Suelo*, Bahía Blanca, IDIA, Suplemento 33, pp.659-673.
- Seed, JR; RJ Woodward & R Lundgren. 1963. Prediction of swelling potential for compacted clays. *Trans. Am. Soc. Civil Eng.* 128(1):1443-1477.
- Shipitalo, MJ; WM Edwards; WA Dick & LB Owens. 1990. Initial storm effects on macropore transport of surface-applied chemicals in no till soil. *Soil Sci. Soc. Am Journal* 54:1530-1536.
- Six, J; ET Elliott & K Paustian. Soil Structure and Soil Organic Matter : II.A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy. 2000. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64 :1042-1049.
- Soil Survey Division Staff (SSDS). 1993. Soil survey manual. Handbook N° 18. United States Department of Agriculture (USDA). Washington D.C. 437 p.
- Sollins, P. P Homann & BA Cadwell. 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma* 74, 65-105.
- Stephan, S; A De Petre; J De Orellana & L Priano. 1977. Brunizem soils of the central part of Pédologie, XXVII (3): 225-253.
- Stern, R; M Ben-Hur & I Shainberg. 1991. Clay mineralogy effect on rain infiltration, seal formation and soil losses. *Soil Science* 152 (6): 455-462.

- Teruggi, M. 1957. The nature and origin of Argentine loess. *J. of Sed. Petrology*, 27(3): 322-332.
- Tessier, D ; A Lajudie & J Petit. 1992. Relations between macroscopic behaviour of clays and their microstructural properties. *Appl. Geochem.*, Suppl Issue, 1:151-161.
- Thomas, PJ; JC Baker & LW Zelazny. 2000. An expansive soil index for predicting shrink-swell potential. *Soil Sci. Soc. Am J.* 64 :268-274.
- Thompson, ML; H Zhang; M Kazemi & JA Sandor. 1989. Contribution of organic matter to cation exchange capacity and specific surface area of fractionated soil materials. *Soil Science* 148, 250-257.
- Tomasella, J & MG Hodnett. 1998. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Science* 163 (3):190-202.
- Tonon, G; S Sohi; O Francioso; E Ferrari; D Montecchio; P Gioacchini; C Ciavatta; P Panzacchi & D Powlson. 2010. Effect of soil pH on the chemical composition of organic matter in physically separated soil fractions in two broadleaf woodland sites at Rothamsted, UK. *European Journal of Soil Science* 61, 970-979.
- USDA. 1996. Coefficient of linear extensibility (COLE). Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigation report n° 42. Version 3.0. National Soil Survey Center. pp 177-178.
- Van Stiphout, TPJ; HAJ Van Lanen; OH Boldersma & J Bouma. 1987. The effect of bypass flow and internal catchment of rain on the water regime in a clay loam grassland soil. *Journal of Hydrology* 95 1-11.
- van Bergen, PF; ID Bull; PR Poulton & RP Evershed. 1997. Organic geochemical studies of soils from the Rothamsted classical experiments e I. Total lipids extracts,

solvent insoluble residues and humic acids from Broadbalk Wilderness. *Organic Geochemistry* 26, 117-135.

-van Genuchten, MTh. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 892-898.

-van Wambeke, A & CO Scoppa. 1976. Las taxas climáticas de los suelos argentinos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3 Clima y Suelo, Vol. XIII, N° 1.*

-Vereecken, H. 1995. Estimating the unsaturated hydraulic conductivity from theoretical models using simple soil properties. *Geoderma.* 65:81-92.

-Walkley, A & A Black. 1934. An examination of Degtereff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:38-39.

-Williams, D; T Cook & W Lynn. 1996. Evaluating the field morphology of Vertisols. *Soil Surv. Horiz.* 37: 123-131.

-Williams, J; RE Prebble; WT Williams & CT Hignett. 1983. *The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic.*

-Yerima, BPK; LP Wilding & CT Hallmark. 1989. Statistical relationships among selected properties of Northern Cameroon Vertisols and associated Alfisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1758-1763.

-Yule, DF & JT Ritchie. 1980. Soil shrinkage relationships of Texas vertisols: I. Small cores. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1285-1291.

-Zárate, M & A Blasi. 1993. Late Pleistocene-Holocene eolian deposits of the southern Buenos Aires Province., Argentina: a preliminary model. *Quaternary International* 17: 15-20.

-Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22: 1987-2006.

- Zubillaga, MM & ME Conti. 1994. Importance of the textural fraction and its mineralogic characteristics in the potassium contents of diferent Argentine soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25: (5-6).479 - 487.

## APENDICE

### Análisis granulométricos

Bajo del Perfil de Los Hornos				
Horizonte	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena
A1	0 a 19 cm	34,3	51,8	13,7
A2	19 a 30 cm	32,9	50,8	16
BA	30 a 46 cm	40,5	46,2	13
Btss1	46 a 70 cm	46,8	41,2	12,1
Btss2	70 a 90 cm	47	40,1	12,7
Btss3	90 a 102 cm	45,6	41,8	13
BC1	102 a 120 cm	43,5	42,3	14,6
BC2	120 a 138 cm	39,3	46,2	14,5
2Ck	138 cm a +	26,5	53,2	17,7

Cresta del Perfil de Los Hornos				
Horizonte	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena
A1	0 a 18 cm	34,5	52,1	13,1
A2	18 a 28 cm	33,2	51,9	15,1
BA	28 a 60 cm	38,4	49,1	12,6
Bt1	60 a 90 cm	40,2	48,6	11,1
BC1	90 a 120 cm	36,5	50,5	13
BC2	120 cm a +	32,5	52,8	14,7

Bajo del Perfil de Castelar				
Horizonte	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena
Ap	0 a 15 cm	33,1	52,2	14,3
A	15 a 22 cm	36,9	49,5	13,9
Bt	22 a 57 cm	39,5	47,2	13,1
Btss1	57 a 80 cm	48,8	37	14,3
2Btss2	80 a 120 cm	42,6	42,2	14,7
2Btk1	120 a 150 cm	35,8	42,1	21,4
2Btk2	150 a 248 cm	33,5	41,1	20,1

Cresta del Perfil de Castelar				
Horizonte	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena
Ap	0 a 18 cm	28,6	56,4	15,1
A	18 a 26 cm	38,4	49,5	12,5
Bt	26 a 57 cm	43,2	39,5	16,7
Btss1	57 a 82 cm	48,3	34,8	16,3
Btss2	82 a 106 cm	36,7	41,2	21,4
2Btssk	106 a 170 cm	34,5	40,1	17,1
2BCK	170 a 190 cm	32,5	41,2	19,6
3Btk	190 a 280 cm	34,5	44,2	15,9

Bajo del Perfil de La Paz				
Horizonte	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena
A1	0 a 12 cm	47,5	44,2	8,1
Bt1	12 a 36 cm	54	40,9	4,3
Bt2	36 a 71 cm	48,7	43,2	7,3
Bkss	71 a 88 cm	52	38,3	5,5
BCKss	88 a 109 cm	55,3	32,4	5,3
Ckss	109 cm a piso	52,4	36,4	3,6

Cresta del Perfi de La Paz				
Horizonte	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena
A1	0 a 12 cm	49,1	42,1	5,3
AC1kss	12 a 42 cm	47	39,5	4,3
AC2Kss	42 a 73 cm	53,1	35,5	3,6
C1Kss	73 a 91 cm	51,9	36,1	4
C2k	91 cm a +	49	39,8	4,3

## Análisis de Susceptibilidad Magnética

Bajo del Perfil de Los Hornos		
Horizonte	Profundidad	SM
A1	0 a 19 cm	1,311
A2	19 a 30 cm	1,120
BA	30 a 46 cm	1,348
Btss1	46 a 70 cm	1,404
Btss2	70 a 90 cm	1,592
Btss3	90 a 102 cm	1,567
BC1	102 a 120 cm	1,874
BC2	120 a 138 cm	1,634
2Ck	138 cm a +	1,619

Cresta del Perfil de Los Hornos		
Horizonte	Profundidad	SM
A1	0 a 18 cm	1,245
A2	18 a 28 cm	0,863
BA	28 a 60 cm	1,539
Bt1	60 a 90 cm	1,495
BC1	90 a 120 cm	1,784
BC2	120 cm a +	1,831

Bajo del Perfil de Castelar		
Horizonte	Profundidad	SM
Ap	0 a 15 cm	0,899
A	15 a 22 cm	0,759
Bt	22 a 57 cm	0,406
Btss1	57 a 80 cm	0,772
2Btss2	80 a 120 cm	1,349
2Btk1	120 a 150 cm	1,494
2Btk2	150 a 248 cm	1,130

Cresta del Perfil de Castelar		
Horizonte	Profundidad	SM
Ap	0 a 18 cm	0,881
A	18 a 26 cm	0,820
Bt	26 a 57 cm	0,462
Btss1	57 a 82 cm	1,221
Btss2	82 a 106 cm	1,367
2Btssk	106 a 170 cm	0,955
2Bck	170 a 190 cm	0,516
3Btk	190 a 280 cm	0,162

Bajo del Perfil de La Paz		
Horizonte	Profundidad	SM
A1	0 a 12 cm	0,250
Bt1	12 a 36 cm	0,301
Bt2	36 a 71 cm	0,236
Bkss	71 a 88 cm	0,276
BCkss	88 a 109 cm	0,250
Ckss	109 cm a piso	0,293

Cresta del Perfi de La Paz		
Horizonte	Profundidad	SM
A1	0 a 12 cm	0,280
AC1kss	12 a 42 cm	0,288
AC2Kss	42 a 73 cm	0,273
C1Kss	73 a 91 cm	0,295
C2k	91 cm a +	0,303

### Análisis químicos y físico-químicos

Bajo del Perfil de Los Hornos						
Horizonte	Profundidad	CIC	pH	CO	K	P
A1	0 a 19 cm	31,2	6,28	2,23	1,7	2,6
A2	19 a 30 cm	28,9	6,38	1,63	1,7	2,0
BA	30 a 46 cm	32,5	6,45	0,93	2,1	2,7
Btss1	46 a 70 cm	34,8	6,29	0,71	1,8	22,6
Btss2	70 a 90 cm	41,5	5,82	0,58	1,6	41,6
Btss3	90 a 102 cm	40,2	5,95	0,44	1,7	50,2
BC1	102 a 120 cm	35,1	6,07	0,28	1,9	46,8
BC2	120 a 138 cm	30,1	6,36	0,21	1,9	36,0
2Ck	138 cm a +	28,5	7,9	0,12	2,0	12,2

Cresta del Perfil de Los Hornos						
Horizonte	Profundidad	CIC	pH	CO	K	P
A1	0 a 18 cm	28,6	6,13	2,48	1,9	2,8
A2	18 a 28 cm	28,5	6,44	2,09	1,7	2,6
BA	28 a 60 cm	31,2	6,20	1,65	1,3	1,7
Bt1	60 a 90 cm	33,5	6,24	0,72	1,4	1,1
BC1	90 a 120 cm	30,6	6,60	0,17	1,4	1,9
BC2	120 cm a +	27,5	6,58	0,05	1,3	2,1

Bajo del Perfil de Castelar						
Horizonte	Profundidad	CIC	pH	CO	K	Fósforo
Ap	0 a 15 cm	28,2	5,84	1,56	1,27	3,8
A	15 a 22 cm	30,6	5,9	1,27	1,70	1,6
Bt	22 a 57 cm	30,5	6,86	0,76	1,30	4
Btss1	57 a 80 cm	41,5	7,13	0,29	1,60	3,7
2Btss2	80 a 120 cm	33,2	7,42	0,16	2,80	12,7
2Btk1	120 a 150 cm	30,9	8,13	0,12	1,90	5,6
2Btk2	150 a 248 cm	29,2	7,89	0,11	1,90	8,1

Cresta del Perfil de Castelar						
Horizonte	Profundidad	CIC	pH	CO	K	Fósforo
Ap	0 a 18 cm	24,1	6,13	1,67	1,90	4,6
A	18 a 26 cm	31,1	6,35	1,08	1,20	1,3
Bt	26 a 57 cm	33,6	7,29	1,43	1,10	5,9
Btss1	57 a 82 cm	37	7,74	0,64	1,30	6,8
Btss2	82 a 106 cm	30,3	8,37	0,42	1,60	4,9
2Btssk	106 a 170 cm	26,9	8,77	0,26	1,40	11,2
2BCK	170 a 190 cm	26,6	8,77	0,19	1,40	12,4
3Btk	190 a 280 cm	28	8,67	0,12	1,70	7,7

Bajo del Perfil de La Paz						
Horizonte	Profundidad	CIC	pH	CO	K	P
A1	0 a 12 cm	32,1	6,31	2,50	1,0	4,2
Bt1	12 a 36 cm	35,0	6,75	0,63	0,9	6,7
Bt2	36 a 71 cm	33,6	7,22	0,43	0,4	5,8
Bkss	71 a 88 cm	34,7	7,91	0,39	0,4	7,0
BCKss	88 a 109 cm	37	8,19	0,17	0,5	5,6
Ckss	109 cm a piso	34,7	8,13	0,10	0,8	8,4

Cresta del Perfil de La Paz						
Horizonte	Profundidad	CIC	pH	CO	K	P
A1	0 a 12 cm	33	7,43	1,38	1,1	8,4
AC1kss	12 a 42 cm	31,3	7,94	0,43	1,0	6,1
AC2Kss	42 a 73 cm	37	8,04	0,33	0,9	7,3
C1Kss	73 a 91 cm	32	8,11	0,25	0,9	5,6
C2k	91 cm a +	32	8,08	0,21	1,0	8,7

### Análisis de Retención de Agua

Bajo del Perfil de Los Hornos				
Horizonte	Profundidad	Humedad Equivalente	CC	PMP
A1	0 a 19 cm	29,17	30,17	25,32
A2	19 a 30 cm	24,47	28,74	25,19
BA	30 a 46 cm	32,32	28,17	23,60
Btss1	46 a 70 cm	39,95	30,80	26,54
Btss2	70 a 90 cm	30,74	33,53	28,92
Btss3	90 a 102 cm	29,24	34,19	27,59
BC1	102 a 120 cm	34,48	33,15	24,69
BC2	120 a 138 cm	32,10	32,33	25,78
2Ck	138 cm a +	29,07	27,41	21,02

Cresta del Perfil de Los Hornos				
Horizonte	Profundidad	Humedad Equivalente	CC	PMP
A1	0 a 18 cm	36,92	32,86	29,14
A2	18 a 28 cm	29,06	29,25	24,64
BA	28 a 60 cm	32,39	43,51	37,25
Bt1	60 a 90 cm	40,24	33,53	26,35
BC1	90 a 120 cm	33,59	36,42	30,11
BC2	120 cm a +	31,01	31,93	24,69

Bajo del Perfil de Castelar				
Horizonte	Profundidad	Humedad Equivalente	CC	PMP
Ap	0 a 15 cm	22,29	36,12	31,05
A	15 a 22 cm	28,73	22,12	17,20
Bt	22 a 57 cm	46,16	42,50	32,04
Btss1	57 a 80 cm	49,15	43,13	33,40
2Btss2	80 a 120 cm	39,74	43,30	31,47
2Btk1	120 a 150 cm	35,92	41,16	30,79
2Btk2	150 a 248 cm	35,9	36,93	27,18

Cresta del Perfil de Castelar				
Horizonte	Profundidad	Humedad Equivalente	CC	PMP
Ap	0 a 18 cm	22,2	32,42	28,36
A	18 a 26 cm	26,2	26,57	20,52
Bt	26 a 57 cm	44,72	42,56	31,90
Btss1	57 a 82 cm	50,23	43,78	33,27
Btss2	82 a 106 cm	40,81	43,10	31,92
2Btssk	106 a 170 cm	35,16	39,75	28,51
2BCK	170 a 190 cm	35,48	36,90	25,97
3Btk	190 a 280 cm	34,82	43,47	32,39

Bajo del Perfil de La Paz				
Horizonte	Profundidad	Humedad Equivalente	CC	PMP
A1	0 a 12 cm	41,19	32,41	13,39
Bt1	12 a 36 cm	45,14	37,73	28,66
Bt2	36 a 71 cm	46,42	42,86	31,57
Bkss	71 a 88 cm	49,78	42,45	35,59
BCkss	88 a 109 cm	54,62	40,18	34,17
Ckss	109 cm a piso	67,97	45,01	32,33

Cresta del Perfi de La Paz				
Horizonte	Profundidad	Humedad Equivalente	CC	PMP
A1	0 a 12 cm	42,34	41,66	29,50
AC1kss	12 a 42 cm	46,05	38,04	28,34
AC2Kss	42 a 73 cm	42,52	40,04	29,97
C1Kss	73 a 91 cm	46,96	39,61	29,29
C2k	91 cm a +	59,37	41,23	29,70

## Análisis de Porosidad

Bajo del Perfil de Los Hornos			
Horizonte	Profundidad	DAP	Pt
A1	0 a 19 cm	1,226	53,73
A2	19 a 30 cm	1,293	51,22
BA	30 a 46 cm	1,396	47,32
Btss1	46 a 70 cm	1,302	50,86
Btss2	70 a 90 cm	1,293	51,20
Btss3	90 a 102 cm	1,254	52,70
BC1	102 a 120 cm	1,290	51,30
BC2	120 a 138 cm	1,248	52,91
2Ck	138 cm a +	1,396	47,31

Cresta del Perfil de Los Hornos			
Horizonte	Profundidad	DAP	Pt
A1	0 a 18 cm	1,142	56,92
A2	18 a 28 cm	1,222	53,89
BA	28 a 60 cm	1,220	53,96
Bt1	60 a 90 cm	1,251	52,80
BC1	90 a 120 cm	1,152	56,54
BC2	120 cm a +	1,327	49,94

Bajo del Perfil de Castelar			
Horizonte	Profundidad	DAP	Pt
Ap	0 a 15 cm	1,171	55,803
A	15 a 22 cm	1,387	47,665
Bt	22 a 57 cm	1,286	51,461
Btss1	57 a 80 cm	1,322	50,109
2Btss2	80 a 120 cm	1,414	46,659
2Btk1	120 a 150 cm	1,191	55,041
2Btk2	150 a 248 cm	1,241	53,172

Cresta del Perfil de Castelar			
Horizonte	Profundidad	DAP	Pt
Ap	0 a 18 cm	1,20323	54,60
A	18 a 26 cm	1,31106	50,53
Bt	26 a 57 cm	1,20000	54,72
Btss1	57 a 82 cm	1,29848	51,00
Btss2	82 a 106 cm	1,27296	51,96
2Btssk	106 a 170 cm	1,21276	54,24
2Bck	170 a 190 cm	1,23143	53,53
3Btk	190 a 280 cm	1,17885	55,52

Bajo del Perfil de La Paz			
Horizonte	Profundidad	DAP	Pt
A1	0 a 12 cm	1,024	61,37
Bt1	12 a 36 cm	1,188	55,18
Bt2	36 a 71 cm	1,351	49,02
Bkss	71 a 88 cm	1,240	53,21
Bckss	88 a 109 cm	1,361	48,64
Ckss	109 cm a piso	1,091	58,84

Cresta del Perfi de La Paz			
Horizonte	Profundidad	DAP	Pt
A1	0 a 12 cm	1,089	58,92
AC1kss	12 a 42 cm	1,092	58,81
AC2Kss	42 a 73 cm	1,259	52,50
C1Kss	73 a 91 cm	1,248	52,90
C2k	91 cm a +	1,256	52,60