

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA



“Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE ARGJUSTOLES TÍPICOS
EN LA PAMPA MEDANOSA CORDOBESA**

Franco Agustín Cámpora

27395764

Nombre del Director: Eugenio Hampp

Nombre del Co-Director: Inés Moreno

Río Cuarto-Córdoba

Abril 2012

Dedicado a la Universidad Nacional de Rio Cuarto y a la Educación Superior Pública y Gratuita.

Agradecimientos:

A papa y mama por darme la posibilidad de formarme, no solo académicamente sino en la vida como persona de bien.

A mi hermano, cuñada y sobrinas.

A José Nihany y familia por haberme cedido desinteresadamente sus instalaciones para este trabajo.

Al Ing. Agr. Eugenio Hampp y a la Lic. Inés Moreno, quienes se brindaron por completo, no solo para este trabajo, sino para cualquier otra inquietud.

A mis amigos de la Facultad.

A mis tíos y primos.

A todos los amigos de mí querido Villa Huidobro.

INDICE GENERAL

Certificado de Aprobación	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Índice General	IV
Índice de Figuras y Tablas	V
Resumen	VI
Summary	VII
I. Introducción y Antecedentes.....	1
1.1. Hipótesis.....	18
1.2. Objetivo General.....	18
1.3. Objetivos Específicos.....	18
II. Materiales y Métodos.....	19
III. Resultados.....	21
IV. Conclusiones.....	28
V. Bibliografía citada.....	30

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla N° 1. Tabla geocronológica estratigráfica internacional.....	4
Tabla N° 2. Subdivisiones del Cuaternario, con datos anexados.....	5
Tabla N° 3. Climas del Holoceno, cronología y duración.....	11
Tabla N° 4. Datos analíticos del Argiustol típico.....	22
Tabla N° 5. Datos analíticos del Haplustol entico.....	23
Tabla N° 6. Aporte de la materia orgánica y de la arcilla a la CIC de ambos suelos...26	
Figura N° 1: a) El Sistema Eólico Pampeano (PES) en OIS 2 . b) Direcciones de paleovientos del Pleistoceno tardío –Holoceno bajo en el S de Santa Fé y Córdoba.....	12
Figura N° 2: Centro anticiclónico sobre la Región Pampeana.....	14
Figura N° 3: Escenario del Holoceno tardío.....	14
Figura N° 4: Imagen donde se observa deflación y dunas longitudinales con sentido NE desde el Río Salado.....	15
Figura N° 5: Fluctuaciones climáticas en la Región Central de Argentina durante los últimos 1000 años.....	17
Figura N° 6: Unidad cartográfica correspondiente a los perfiles estudiados.....	19

RESUMEN

El objetivo propuesto para la realización del Trabajo Final de Graduación consiste en explicar el origen de dos suelos diferentes y asociados del mismo Suborden (Argiustol típico y Haplustol éntico), separados por un límite abrupto y que comprenden un área correspondiente a la Pampa Medanososa Cordobesa al SO y al NE de la localidad de Villa Huidobro (Dpto General Roca), a través de la interpretación de datos morfológicos, granulométricos, químicos, paleoclimáticos y de relieve. Granulométricamente resultan ser suelos muy diferentes aunque se encuentran ubicados en el mismo ámbito geográfico-climático. Por otro lado, analizando los datos químicos realizados sobre la fracción inorgánica, surgen claramente las diferencias entre ambos perfiles, tanto en lo que respecta al material esquelético como al coloidal. Las arcillas cambian cuantitativamente entre perfiles, aunque también las relaciones entre horizontes son distintas. En conjunto, los materiales de origen muestran diferencias notables en su contenido de bases como también de fósforo total. Se trata así de dos materiales distintos, tanto desde el punto de vista granulométrico como el químico-mineralógico. En relación a la materia orgánica, los contenidos son similares, no así su distribución. Se trata entonces de suelos que difieren en su génesis por ser distintos sus respectivos materiales de origen, que se encuentran asociados y parcialmente superpuestos en un área determinada. Esto se debe a una cuestión geomorfológica vinculada al transporte, selección y acumulación areal de materiales minerales de muy diverso origen en sucesivas etapas a través del tiempo por efectos hídricos y/o eólicos, como causa de los cambios climáticos que con variable frecuencia a través de largos períodos de tiempo (Paleoclimas) afectan al planeta y sus consecuencias resultan ser por lo general edafológicamente complejas.

Palabras claves: Argiustol. Haplustol. Material originario. Transporte y sedimentación. Paleoclimas.

SUMMARY

The proposed objective for this Graduation Final paper consists of explaining the origin of two different and associated soils of the same Suborder (typical Argiustoll and entic Haplustoll), separated by an abrupt limit and which includes an area corresponding to the Cordobesa dunes pampas to the SW and to the NE of the town of Villa Huidobro (General Roca county), through the interpretation of morphologicals, granulometrics, chemicals, paleoclimate and of relief data. Granulometrically they are very different soils although they are located in the same geographical-climate scope. On the other hand, analyzing the chemical data done on the organic fraction, arise clearly the differences between both profiles, both in terms of the skeletal as well as the colloidal material. The clays change quantitatively between profiles, although the relationships between horizons are different too. Altogether, the source materials show noticeable differences in its content of bases as well as the total phosphorus. So they are two different materials, as well of the granulometric as the chemical-mineralogical point of view. In relation to the organic material, the contents are similar, not its distribution. It is then about soils that differ in its genesis as being different in its respective raw materials, that are associated and partially superimposed in a given area. This is because of a geomorphological matter related to the transport, selection and areal accumulation of mineral materials of different origin in successive stages through the time by water and aeolian effects, as a cause of weather changes that with variable frequency along long periods of time (Paleoclimates) affect the planet and its consequences result to be in general edafologically complex.

Key words: Argiustoll. Haplustoll. Raw material. Transport and sedimentation. Paleoclimates

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El área a estudiar está ubicada en la región geomorfológica conocida como Pampa Medanosa Cordobesa. La superficie que abarca es de alrededor de 27.200 km². El relieve dominante es normal, ondulado a suavemente ondulado, con notable acción eólica siendo los materiales formadores de textura franco arenosa a arenosos, excesivamente drenados, con capa freática profunda. Esta región se caracteriza por poseer en general suelos con perfiles donde el proceso de la haploidización es típico, dominando en el área el Subgrupo de los Haplustoles típicos y énticos (Buol *et al.*, 1981; Soil Taxonomy, 1999); sin embargo, al sur de las localidades de Villa Huidobro y Huinca Renancó, se encuentran unidades cartográficas que se caracterizan por contener, prácticamente en un 50% de su superficie, suelos con perfiles más desarrollados con horizonación muy evidente y que corresponden al Gran Grupo de los Argiustoles (Buol *et al.*, 1981; Soil Taxonomy, 1999); Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba (2006).

ANTECEDENTES

Debido a la escasa información generada sobre la génesis de estos suelos en la región considerada, no se cuenta con material bibliográfico abundante sobre el área.

Los trabajos consultados con respecto a los suelos de esta región son los realizados por el INTA (Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba, 2006), los cuales son utilizados en el análisis e interpretación de la parte pedológica de este trabajo, mientras que la relacionada a los climas (Paleoclimas) abarca un espectro más amplio.

GENESIS DE MOLISOLES

Son suelos minerales que presentan el epipedón mólico que da su nombre al orden, ocupando esta condición un alto nivel jerárquico en su nomenclatura, solo superado en algunos Vertisoles, donde la presencia de elevadas cantidades de arcillas expansibles otorgan al suelo propiedades a las que se da preferencia en la nomenclatura. Principalmente se forman bajo vegetación herbácea de gramíneas y leguminosas en climas templados subhúmedos a semiáridos. Son de colores oscuros en la parte superior (Horizonte A mólico), como consecuencia del proceso específico conocido como melanización. La vegetación pertinente tiene la propiedad de depositar cantidades semejantes de residuos vegetales en la superficie como dentro del perfil, invadido generalmente por una abundante masa de raíces

de plantas anuales o bienales lo que deja una distribución de humus cuya proporción disminuye gradualmente con la profundidad, por lo que estos suelos son llamados también “Isohúmicos” en la clasificación francesa. El humus presente corresponde al tipo Mull, producto de una actividad biológica fuerte en un medio neutro a levemente básico, con presencia de agentes floculantes como el Ca y otros que tienen acción catalítica y/o complejante como el Fe y las arcillas, comúnmente illitas y montmorillonitas.

Los compuestos húmicos dominantes son huminas estabilizadas, ácidos húmicos grises, pardos y fúlvicos, cuyas proporciones varían de acuerdo a la naturaleza específica de cada factor de formación (Duchaufour, 1984; Buol *et al.* 1997).

Son suelos con alta saturación en bases, en sus condiciones naturales cercana al 100 %, con la secuencia clásica de $Ca > Mg > K > Na$, lo que está vinculado a los potenciales iónicos de estos elementos y a la naturaleza básica de los materiales originales, que contienen minerales como plagioclasas cálcicas y casi siempre calcita finamente dividida al estado de limo. Este es el caso clásico del loess en Argentina y otros países como por ejemplo Rusia y Estados Unidos. Este sedimento es un fuerte determinante de la génesis de estos suelos. Otros materiales de origen de naturaleza más ácida (cuarzoso o granitoideo) o más básicos como arcillas de origen marino o limos finos calcáreos, darán origen a suelos como los Alfisoles o Inceptisoles y Vertisoles, respectivamente, bajo condiciones climáticas semejantes. También la biota es afectada por el material de origen (Duchaufour, 1984; Buol *et al.* 1981).

Los Molisoles que se encuentran en regiones húmedas han experimentado procesos de traslocación de arcillas y humus, generalmente asociados para formar un horizonte Bt, de estructura prismática, cubierta con barnices arcillosos o húmico-arcillosos (Perfil A – Bt – C). Donde hay restricciones del drenaje (casi siempre asociado con las partes más deprimidas o muy planas) puede aparecer el horizonte E.

En las zonas más secas las propiedades mencionadas en el párrafo anterior se van haciendo gradualmente menos intensas, hasta que el mencionado horizonte es sustituido por un Bw, caracterizado por presentar algún cambio con respecto al material original (Ck), que normalmente es la formación de arcilla *in situ*, sin traslocaciones, y asociado a esto algún cambio en la estructura que es predominantemente de bloques subangulares (Perfil A – Bw – C) pueden ser débilmente prismáticas, con barnices muy tenues o bien masiva en el otro extremo, que es el caso de los horizontes AC de los Haplustoles énticos. Cabe agregar que la presencia del Bt no es una función exclusiva del régimen de humedad, sino que también depende de la edad del suelo, de la granulometría del material original y del tipo de relieve (Buol *et al.* 1981).

La lixiviación de CO_3Ca es otro proceso que ocurre en los Molisoles y la profundidad alcanzada por aquellos está básicamente relacionada con las precipitaciones, lo que en realidad solo se cumple a grandes rasgos, ya que si bien es producida por el agua percolante, la cantidad de ésta se encuentra moderada por otras condiciones como la época de las lluvias, régimen térmico del clima y del suelo, textura y de la presencia en la misma de dióxido de carbono, producto de la actividad biológica (Duchaufour 1984; Buol *et al.* 1981; Porta *et al.* 1994).

Dentro de los Molisoles se encuentran también aquellas categorías afectadas por los procesos hidro – o hidrohalomórficos llamados *intrazonales* en otras clasificaciones. Son suelos que pueden presentar salinidad, alcalinidad, procesos redox (rasgos redoximorfos), pero que se siguen manteniendo dentro del mismo orden por la presencia del horizonte mólico (Duchaufour, 1984; Buol *et al.* 1981; Porta *et al.* 1994).

LAS VARIACIONES CLIMATICAS, SU RELACION CON LA GEOMORFOLOGÍA Y LA GENESIS DE LOS SUELOS

Cabe hacer una revisión de los climas del pasado o históricos que afectaron a la Región Pampeana. Numerosas formaciones geomorfológicas como dunas, médanos y llanuras aluviales, la sedimentación de materiales loessicos provenientes en parte de la acción glaciaria, o de la remoción de otros suelos, son fenómenos asociados a las variaciones del clima, (húmedo o seco, cálido o frío, acción eólica, etc.), a través del tiempo. Sin estas consideraciones no sería posible comprender la génesis y sucesión vertical de los suelos en un área cualquiera.

En el caso tratado aquí, un factor de formación, el material parental, está representado por dos regolitas distintas, mientras que el factor clima, dado a la relativamente pequeña superficie considerada, corresponde a un mismo tipo en una zona mucho más extensa. De esta manera, se generan dos suelos distintos bajo la influencia del primer factor mencionado. Pero cabe también a la acción del clima, a través de los tiempos, desencadenar procesos geomorfológicos que interfieren estos procesos, desbastando perfiles ya formados o cubriéndolos con nuevos materiales – que pueden ser distintos a los antiguos – dando lugar a la génesis de suelos diferentes, ya que tanto el material de origen como el clima pueden haber cambiado, dado esto, entre otras cosas, por los largos espacios de tiempo transcurridos entre los sucesivos eventos. Con el propósito de demostrar la veracidad de estos hechos, sin relacionarlos en forma específica a los perfiles estudiados en esta tesis, se presenta la

siguiente síntesis, referida a las acciones climáticas del pasado reciente, geológicamente hablando, y que se conocen bajo la denominación de Paleoclimas.

EL CUATERNARIO: Sus secuencias climáticas.

Este período, también llamado Neozoico, es el último de los períodos geológicos. Se desarrolla en la era Cenozoica , desde hace 2,588 Ma (Megaaños) hasta el presente.

Tabla N° 1. Tabla Geocronológica Estratigráfica Internacional (Bardají y Zaso, 2009).

ERA	PERIODO		EPOCA	Inicio:Ma
CENOZOICO	Cuaternario		Holoceno	0.11784
			Pleistoceno	2.588
	Terciario	Neógeno	Plógeno	5.332
			Míoceno	23.03
		Paleógeno	Oligoceno	33.9
			Eoceno	55.8
			Paleoceno	65.5
		Mesozoico	Cretáceo	Superior
Eras, períodos y épocas anteriores hasta 4300 Ma				

Tabla N° 2. Subdivisiones del Cuaternario (Bardají y Zaso, 2009), con datos anexados.

PERIODO	EPOCA	PISO/EDAD	Inic.:Ma	GLACIACIONES
CUATERNARIO	HOLOCENO	— — —	0.0118	Período Interglacial
	PLEISTOCENO	Superior	0.127	OIS 2 - 4 (83 – 16 ka AP) ^(*)
		Medio	0.78	OIS 6 (190 – 125 ka AP)
				OIS 8 (240 – 280 ka AP)
				OIS 10 (340 – 380 ka AP)
				OIS 16 (620 – 670 ka AP)
		Inferior	Calabriense	1.8
	Gelasiense		2.588	Aumento gradual de la temperatura
P L I O C E N O	Pliaciense	3.600		

AP: Antes del Presente – ka (kiloaños)

(*) Los OIS son períodos alternantes fríos (numeración par) y cálidos (numeración impar), que se suceden en la evolución paleoclimática de la Tierra, y que se registran mediante un contenido diferente en los tipos de isótopos estables del O₂ presentes en los caparzones de organismos fósiles. Estas variaciones isotópicas reflejan cambios en la temperatura del agua en la que se desarrollan dichos organismos.

OIS 4: 83 a 65 ka (kiloaños) AP

OIS 3: 65 a 36 ka (kiloaños) AP

OIS 3: 36 a 16 ka (kiloaños) AP

El Cuaternario, tal como se observa en las tablas 1 y 2, se divide en dos épocas geológicas: Pleistoceno y Holoceno. El primero cubre prácticamente todo el período, ya que el Holoceno data recién de 11.700 años atrás, es un período interglacial y es la época en que vivimos.

El Pleistoceno se caracterizó por los ciclos de las glaciaciones. En intervalos de 40 y de 100 ka (kiloaños) se han sucedido alternativamente numerosos períodos glaciares e

interglaciares. Los principales efectos de las glaciaciones fueron la erosión y deposición de materiales sobre grandes zonas de los continentes, la modificación de los sistemas fluviales, la creación de millones de lagos, los cambios en el nivel del mar, el desarrollo de lagos pluviales lejos de los márgenes del hielo, los ajustes isostáticos de la corteza y anomalías de los vientos.

En el último millón de años se considera que se han producido cuatro glaciaciones, conocidas o mencionadas generalmente como Glaciación de Günz (inicio hace 1,1 Ma); Mindel (580 ka); Riss (200 ka) y Würz (80 ka), siendo conocidos además dos episodios previos llamados Bieber (5 Ma) y Donau (1.8 Ma) (Wikipedia, 2011), denominaciones vinculadas geográficamente a los lugares donde los rasgos geomorfológicos que las caracterizan fueron identificadas por primera vez. (La cronología citada aquí se ha ido modificando con la evolución de los métodos de datación).

Durante los períodos glaciares, la presencia del hielo en amplias zonas continentales modificó en gran medida las pautas de circulación atmosférica. Además, las lluvias fueron menos abundantes debido a la disminución de la evaporación del agua de los océanos, lo que llevó a una mayor sequedad del clima y a un aumento en la extensión de las áreas desérticas. Ambos factores contribuyeron así a incrementar los procesos erosivos.

Por otro lado, los glaciares, al desplazarse por los valles que los contienen, producen enormes masas de sedimentos de diversa granulometría, conocidas como "Till glaciario". Estos son removidos y transportados en los períodos interglaciares por el agua de la fusión glaciaria y posteriormente también por el viento. En la Región Pampeana, que es el área en que se halla enclavado este trabajo, se lo puede hallar por ejemplo desde el borde oriental del pedemonte de las sierras de Córdoba hasta el Paraná y Río de la Plata, gradando en ese sentido desde franco arenoso hasta franco arcilloso. Por otro lado se lo ubica también en las llamadas "pampas" de altura de las Sierras de Córdoba (Pampeanas) (Iriando, 1997).

ESQUEMA GEOLÓGICO Y EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA LLANURA CHACO - PAMPEANA (Iriondo, 1985).

“La llanura chaco – pampeana no es geológica ni geomorfológicamente homogénea, no es una región uniformemente plana ni está cubierta indiscriminadamente por “loess y limos pampeanos”.

“La llanura pampeana es un sistema dinámicamente activo y estructurado y lo ha sido durante todo el Cuaternario”.

En estos dos párrafos, tomados literalmente de Iriondo (1985) se encuentra, a escala regional, parte de la razón de la variabilidad de los suelos de la Llanura Pampeana tanto en el sentido vertical como horizontal.

La evolución geológica de la región puede ser explicada por la existencia de cuatro ambientes bien definidos y que son: El Río Paraná, el Ambiente Pampeano, los abanicos aluviales del oeste y la zona de influencia directa del Escudo Brasileño. Debido a las *oscilaciones climáticas*, en diferentes épocas ha avanzado geográficamente uno u otro ambiente, aunque sin eliminar por completo a los restantes (Iriondo, 1985).

Estas oscilaciones climáticas o **paleoclimas** que han existido durante las últimas decenas de miles de años representan una influencia geológica menos permanente y más errática que las formaciones o estructuras geológicas en sí. De acuerdo a la información que se dispone para la Región Pampeana, cada paleoclima ha reinado durante unos pocos miles de años, sucediéndose períodos secos y húmedos (Iriondo, 1985).

Iriondo et al. (2009), con el propósito de hacer una reconstrucción de dos períodos climáticos del Holoceno que ocurrieron en la región central de la Llanura Pampeana, se basaron en evidencias con principios geológicos y geomorfológicos (inclusive químicos y físicos), complementarios a las evidencias biológicas aplicadas en la reconstrucción de ésta Época. La aproximación propuesta tiene algunas ventajas evidentes: las “muestras” o evidencias utilizadas son enormes (dunas, médanos, formaciones loésicas enteras, niveles de suelos zonales), tienen ocurrencia regional y están directamente vinculadas a las fuerzas externas primarias de factores como temperatura, precipitaciones pluviales y evapotranspiración.

Los parámetros fundamentales del ambiente o entorno responsables de la ocurrencia de productos geológicos como los campos de dunas o suelos zonales, han sido estudiados desde las primeras décadas del siglo XX tanto en el campo como en el laboratorio. Al presente, sus rangos de ocurrencia son razonablemente bien conocidos y aceptados por los especialistas (Summerfield, 1991).

Las dunas son sensibles a las modificaciones de los parámetros atmosféricos, como dirección e intensidad del viento, cambios en las precipitaciones, lo que afecta la ETP, humedad del suelo, masa vegetal y movilidad de las partículas sedimentarias y responden rápidamente a los cambios climáticos.

De acuerdo a Morrison (1978), la presencia real de un paleosol tiene importancia paleoclimática si es tomado para indicar un período más cálido y/o húmedo entre fases frías y/o secas de acumulación de loess. Las reconstrucciones climáticas cuantitativas desde paleosoles normalmente dependen del establecimiento de climofunciones, esto es, relaciones matemáticas entre las variables climáticas y propiedades mensurables en suelos del presente (Catt, 1991).

Un concepto aplicado aquí es el de los umbrales sedimentológicos o geomorfológicos, encima del cual un proceso se inicia o arranca. Estos umbrales están asociados con una alta tasa de actividad geomorfológica lo que es un elemento dominante en la determinación según la cual un paisaje o geoforma se establece bajo un determinado clima (Summerfield, 1991). Algunos de estos procesos dependen de la cantidad de precipitación, como por ejemplo el transporte de arena y limo (Wiggs, 1997; Iriondo y Kröhling, 2007). Otros procesos, como los nivales o glaciales, están ligados principalmente a un umbral térmico. Otro grupo de procesos, como los ligados a la génesis de diferentes suelos zonales, están vinculados a temperatura y humedad (Catt, 1990) y también al material original (Iriondo y Kröhling, 2004). En consecuencia, la ocurrencia de cierto tipo de sedimentos y formas del paisaje son “robustos” indicadores de paleoclimas.

Otra característica básica del clima a escala regional es también útil para la reconstrucción: es la repetición sinóptica de las estructuras meteorológicas a lo largo de períodos climáticos en la misma región. El parámetro crucial en la teoría parece ser la longitud temporal de los ciclos, más que su intensidad; i.e., la longitud del tiempo que la realimentación positiva del proceso puede operar hasta que sus efectos se hayan establecido y alcanzado el umbral (Monastersky, 1994).

Un ejemplo de una estructura es el viento “Pampero”, frío y seco de rumbo SSO que ocasionalmente sopla en la región transportando nubes de polvo en suspensión desde la Patagonia. De acuerdo a la orientación de megadunas longitudinales del OIS 4 (Oxigen Isotopic Stage) (Bardají y Zaso, 2009), este viento fue la estructura estable y dominante durante ese período (83 a 65 ka AP) (Iriondo, 1999).

Otro ejemplo es la circulación anticiclónica sobre la Llanura Pampeana en años extremadamente secos, un fenómeno dominante en el Holoceno tardío (Iriondo, 1990).

Cambios climáticos en las pampas pueden ser explicados asumiendo un

desplazamiento menor en los movimientos de circulación atmosférica actuales. Se asume que tales fluctuaciones ocurren en el presente en intervalos variables.

Por otro lado, se puede suponer con razonable certeza que hubo parámetros climáticos no preservados (grabados) en los procesos sedimentológicos / geomorfológicos que han ocurrido junto a aquellos que si han quedado registrados. Algunos de esos parámetros, como humedad relativa ambiente, frecuencia de las heladas, temperaturas máximas son indudablemente importantes en la reconstrucción de los ambientes del pasado. Una interpretación de esta cuestión es propuesta por Iriondo y García (1993). Benn y Evans (1998) sugirieron que cambios en la radiación solar provocan importantes cambios en la circulación atmosférica, océanos y ciclos hidrológicos. Estos cambios pueden producir desplazamientos en los límites de las provincias climáticas (Iriondo y García, 1993).

Utilizando indicadores geológicos y geomorfológicos bien conocidos, los patrones atmosféricos del presente pueden ser utilizados como una línea base para la reconstrucción de los climas del pasado, como aquellos del Pleistoceno tardío y Holoceno.

SECUENCIAS CLIMÁTICAS DEL CUATERNARIO TARDÍO EN LAS PAMPAS

Sucediendo al último período interglaciar, cálido y húmedo (127 a 83 ka AP- OIS 5), ocurre el OIS 4 (83 a 65 ka AP) que figura en la literatura sudamericana como el período más frío del último ciclo glacial - interglacial (Clapperton,1993). Durante este período, se formó el Sistema Eólico Pampeano (SEP), formado por un mar de arena caracterizado por megadunas longitudinales con orientación SSO (Figura N° 1 Sector 2a). Le sucede el período OIS 3 (65 a 36 ka AP), marcado en el SEP y regiones vecinas por un mejoramiento climático con procesos complejos, incluida la generación de dos niveles de suelos y un aplanamiento del terreno heredado del OIS 4. Las precipitaciones durante las fases de formación de suelos fueron definitivamente superiores a las del presente, estimadas entre 1000 y 2000 mm/año (Iriondo, 1999).

El período OIS 2 (36 a 16 ka AP) (Figura N° 2) es formado por un avance general de los glaciares en la Cordillera Andina y Sur de la Patagonia (Clapperton, 1993) y por un clima seco en las llanuras, con una importante removilización de las arenas y la generación de un mayor cinturón de loess en el N de la Pampa. El escenario fue similar al del período OIS 4, con una dinámica eólica dominante, aunque menos manifiesta. Iriondo y García (1993), en base a la elaboración de parámetros paleoclimáticos de la región de Santa Fe, estimaron que hubo un desplazamiento de los cinturones climáticos de unos 750 km hacia el NE de la actual posición. Las lluvias fueron considerablemente menores, entre 350 – 400 mm/a (actual 1100 mm/a). La fase principal de este período concluyó hace aproximadamente 16

ka. Durante la etapa final de este período, ante una variación climática que tuvo una duración de aproximadamente 1000 años, se produjo una lixiviación de CO_3Ca de origen pedogenético en noreste del SEP. Después del período Pleistoceno Superior – Holoceno Inferior (aproximadamente 10 ka AP), vientos del oeste desplazan las isotermas con una variación de 6 – 7 °C y ocurre una acumulación importante de loess (\cong 3,5 m) en áreas periféricas ubicadas al N. De acuerdo a diversos datos cronológicos (Iriondo y Kröhling, 1995; Iriondo, 1999) esta fase concluyó hace \cong 8,5 ka.

EL OPTIMO CLIMÁTICO DEL HOLOCENO

Durante el Holoceno (desde 11,7 ka AP), ocurre un óptimo climático con una duración de aproximadamente 5000 años (entre 8,5 y 3,5 ka AP), que se caracteriza por un clima húmedo en la Región Pampeana, producido por modificación de la circulación de los vientos en el área. Un fuerte indicador de esto es la presencia de suelos bien desarrollados, que representan un marcador pedostratigráfico distinto en las principales unidades geomorfológicas del SEP y aún fuera del mismo (Kröhling e Iriondo, 2005).

Los paleosoles responden muy lentamente a las variaciones climáticas, reflejando condiciones medias de muy escasa resolución y grabando las variaciones climáticas de baja frecuencia (Grosjean et al., 2003). Está aceptado en la ciencia del suelo que la formación de un suelo bien desarrollado insueme algunos miles de años (Manual de Paleopedología del INQUA: Catt, 1990).

DIVISIONES DEL HOLOCENO EN LA REGION PAMPEANA

A los efectos de facilitar la interpretación de los ciclos climáticos del Holoceno en nuestro país, se presenta a continuación una tabla con las divisiones del mismo y las respectivas edades y duración de cada una de ellas.

Tabla N° 3. Climas del Holoceno, cronología y duración (Iriondo et al. 2009; Cioccale, 2000).

Nombre	Años AP	Duración	Clima
Holoceno Temprano	11700 - 8500	3200	Arido y frío. Las isólinas climáticas se ubican 750 km al NE de las posiciones actuales
Holoceno Medio	8500 – 3500	5000	Máximo Climático del Holoceno Clima Húmedo
Holoceno Tardío	3500 – 1000	2500	Seco subtropical, con dinámicas eólicas, estabilizado sobre un área de 1.6 Mkm ²
Último milenio	1400 – 1000	400	Período Cálido Medieval Medieval Warm Period (MWP)
Último milenio	1600 – 1400	200	Pequeña Edad Fría I Little Ice Age (LIA) I
Último milenio	1850 – 1720	130	Pequeña Edad Fría II Little Ice Age (LIA) II
Hypsithermal Período	9000 – 5000	4000	Cálido y árido

Los suelos enterrados de la Región Pampeana, tienen un horizonte Bt moderadamente a bien desarrollado. Son suelos truncados y luego recubiertos por una formación eólica, con una edad correspondiente al Holoceno Tardío. En valles fluviales, forman un complejo acrecionado con horizontes argílicos separados por estratos de cenizas volcánicas andinas concentradas por procesos aluviales. Típicos procesos de este período son la formación de argillanes y ferriargillanes, horizonación, pedoturbación e hidromorfismo (Kröhling e Iriondo, 2005).

Este suelo ha sido identificado en varias partes de la Región Pampeana por distintos investigadores como Fidalgo et al. (1973), Figini et al. (2003) quienes pudieron determinar cronológicamente estos eventos pedogénicos, ubicándolos entre 5,9 y 1.8 ka AP, en suelos del sur de Córdoba (Serie Las Tapias Cantú y Degioanni, 1984); en el este de Córdoba y Santa Fé (Suelo Hypsitérmico del N de La Pampa) (Iriundo, 1990) (Kröhling, 1999). Es importante también que estos perfiles se hayan encontrado en regiones climáticas del centro y oeste de Argentina, que actualmente se encuentran bajo un régimen árido o ústico, condiciones que permiten una pedogénesis sólo débilmente manifestada.

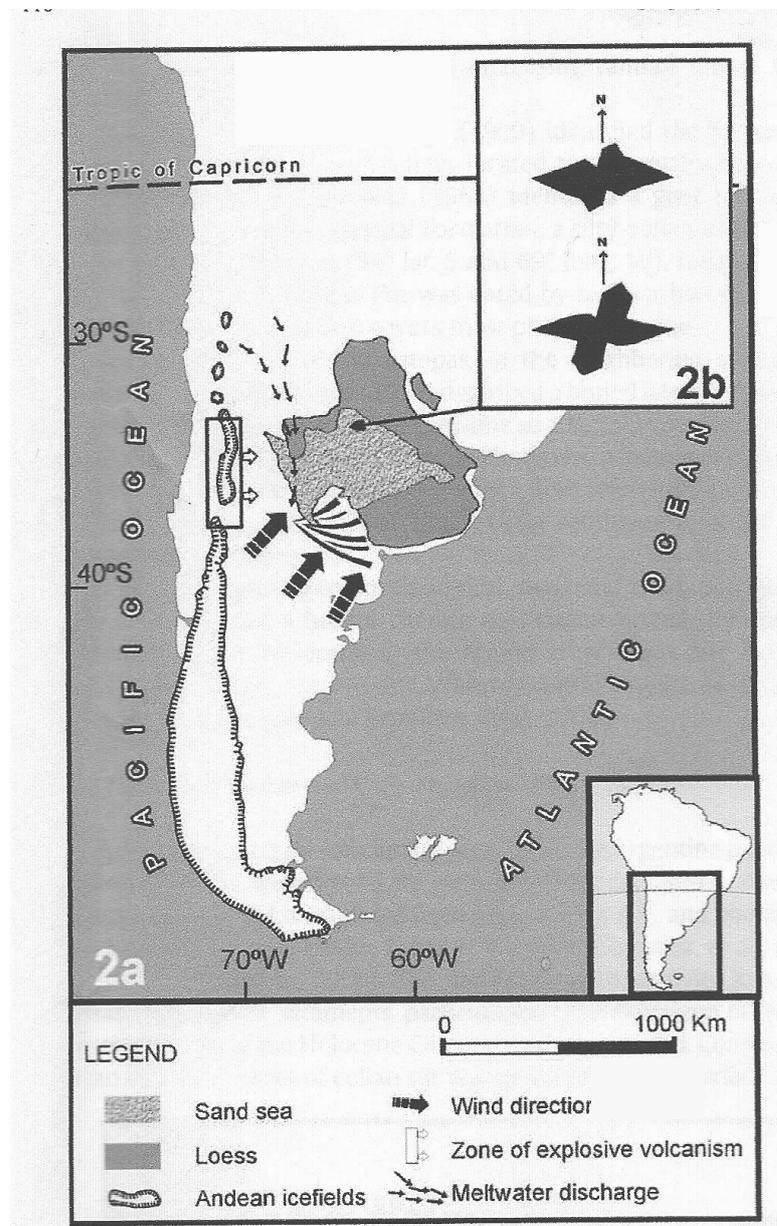


Figura N° 1: a) El Sistema Eólico Pampeano (PES) en OIS 2 (de Iriundo, 1990). b) Direcciones de paleovientos del Pleistoceno tardío –Holoceno bajo en el S de Sta. Fe y Córdoba (32° S y 62° W) (de Iriundo, 1995).

EL HOLOCENO TARDÍO

Un clima seco, básicamente semiárido ocurrió en las planicies argentinas durante este período (Iriondo, 1990). Datos absolutos sugieren que este se extendió desde 3,5 a 1,4, probablemente 1.0 ka AP. (Iriondo, 1990; Tonni et al., 2001; Gonzalez et al. 2008; Iriondo y Kröhling, 2008). La actividad eólica dominante provocó deflación de sedimentos superficiales, particularmente de los horizontes A de los suelos desarrollados durante el Optimo Climático del Holoceno (8.5 a 3.5 ka AP). Consecuentemente, una capa extensa de limo eólico se formó en la superficie de las Pampas y en la llanura chaqueña de Bolivia, Paraguay y Argentina, como también en regiones linderas de Brasil y Uruguay (Figura 3). Este depósito, de $\cong 20$ a 80 cm de espesor fue formalmente denominado como Formación San Guillermo en el N de La Pampa. Esta unidad está posada sobre el suelo truncado y muestra una pedogénesis incipiente durante el actual clima húmedo. Una reciente datación de esta unidad indica una edad de $1.0 \pm 0,1$ ka AP (Kemp et al., 2004). En el norte de La Pampa, la secuencia granulométrica de los materiales transportados desde arenas, loess arenoso y loess típico, indican la dirección del viento en el Sistema Eólico Pampeano (PED), que tuvo un sentido SSO – NNE. Además, las formaciones eólicas presentes en el paisaje, indican la misma dirección.

La actividad eólica durante este período está también representada en el Sur de la Pampa por la formación de dunas parabólicas, lunetas, capas de arena y hoyas de deflación (Iriondo y Krohling, 1995). La determinación de la dirección de paleovientos sobre la base de dunas parabólicas asociadas a las fosas de deflación elípticas, provee una robusta fuente de información. El patrón geográfico de los paleovientos revela una circulación anticiclónica con un radio de 600 – 800 km, lo que es típico para los anticiclones del Hemisferio Sur (Figura N° 2). Tal condición parece haber sido frecuente en las pampas durante el Holoceno tardío (Figura N° 3) (Iriondo, 1990). Algunas áreas extra – pampeanas también manifiestan signos de movilización de arenas (Figura N° 4).

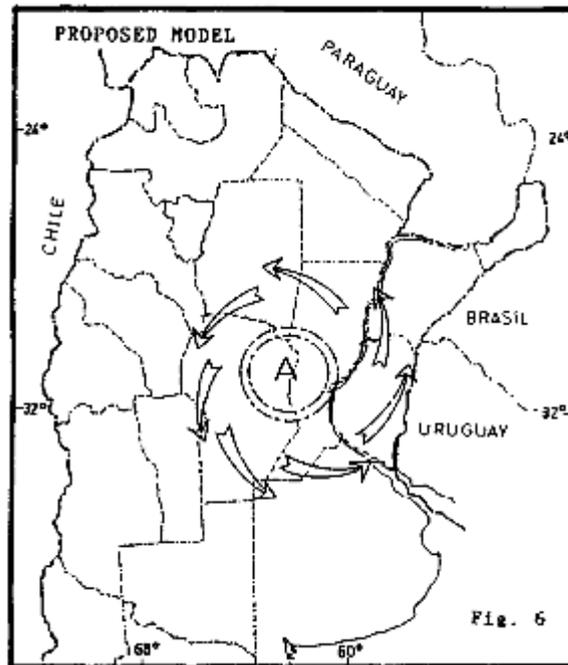


Figura N° 2. Centro anticiclónico sobre la Región Pampeana. Nótese el sentido de giro del viento, típico de los anticiclones del Hemisferio Sur (Iriondo, 1997).

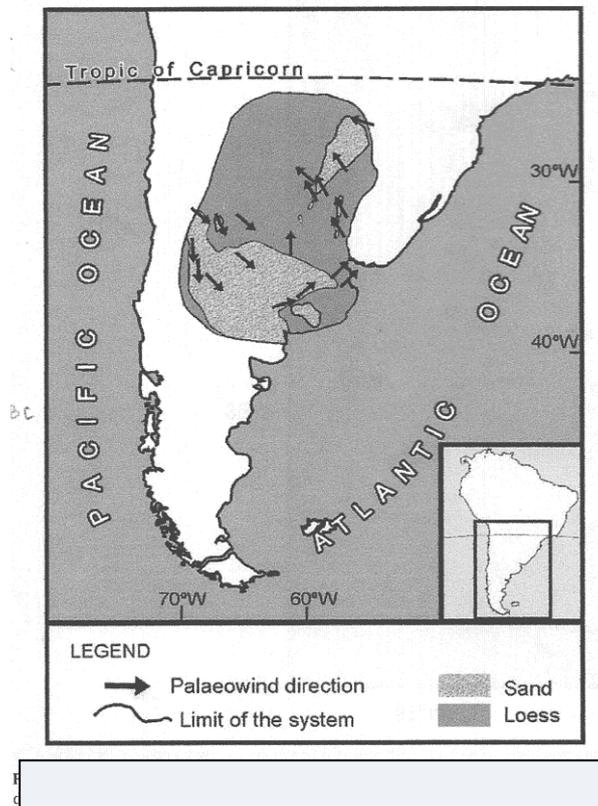


Figura N° 3. Escenario del Holoceno tardío (Iriondo, 1990). Las flechas indican la dirección de los paleovientos.



Figura N° 4: Imagen donde se observa deflación y dunas longitudinales con sentido NE (radiales por efecto de los vientos anticiclónicos) desde el Río Salado (sector inferior izquierdo), un conjunto de dunas más pequeñas en el mismo sentido y también depósitos aluviales del Río Quinto (cercanía de Ruta 7). Nótese el entrecruce de los materiales sedimentarios (Tomado de Google Earth).

Iriondo y García (1993) estimaron para el Holoceno Tardío un clima relativamente homogéneo y semiárido en toda la llanura pampeana, con precipitaciones de alrededor de 300 – 400 mm/a y un rango de temperatura más amplio que el actual, bajos niveles de freática, ausencia de la selva chaqueña y tierras húmedas en Corrientes y sur del Paraguay.

Cioccale (2000), en un trabajo localizado en el área central de la República Argentina, entre los 28 – 36 °S y 61 – 67 °W, que lógicamente incluye la Llanura Pampeana, utilizando varias líneas de evidencias concurrentes, logró confirmar y explicar las fluctuaciones climáticas que ocurrieron en la región mencionada durante los últimos 1000 años.

Murck y Skinne (1995) afirman que el clima de la Tierra ha sido más o menos constante desde el último período glaciario, con una temperatura media que varió entre uno o dos grados respecto a sus niveles actuales. No obstante, sobrepuestos a esta relativa constancia hubo una sucesión de fluctuaciones térmicas de duración más corta que tuvieron impactos geológicos, biológicos, y aún socio – económicos. Si bien este autor no emite

opinión sobre el punto de vista pedológico, es obvio que los suelos no pueden haber escapado a estas influencias.

En la primera parte del presente milenio, entre 1100 y 1400, período llamado Período Cálido Medieval (PCM) (MWP: Middle Warm Period)), la temperatura global del planeta varió en 0,3 °C en comparación a la norma de referencia, el año 1900 (Riccardi, 1995).

En la Región Central de Argentina el PCM manifestó un incremento en las precipitaciones, los ríos alargaron su cauce y, sobre terrenos del Pleistoceno tardío y Holoceno medio, ocurrieron procesos pedogénicos en geformas eólicas (Carignano, 1997).

Más tarde, un evento global frío llamado Pequeña Edad Fría (PEF) (LIA: Little Ice Age), fue registrado en la Argentina. Fue la más importante alteración que ocurrió en la evolución del clima en el curso de los dos últimos milenios. Este pulso comenzó al final de la Edad Media y aún permaneció durante la mayor parte del siglo XIX. El clima sufrió un severo deterioro; las temperaturas descendieron alrededor de 0,6 °C respecto a la norma de referencia (año 1900). Durante la PEF, correspondiente a un avance de los glaciares en los Andes (Politis, 1984; Rabassa et al., 1984; Iriondo y Krohling, 1995), condiciones de sequedad dominaron en las llanuras de la región central de Argentina, repitiendo en una menor escala los patrones del Último Máximo Glaciar (80 ka a 12 ka AP) (Pleistoceno superior – Holoceno inferior) (Iriondo, 1994).

La PEF en la región central de Argentina no fue un evento homogéneo. Estuvo formado por dos pulsos fríos (Figura N° 5) separados por un período intermedio de condiciones más benignas, similar al presente, pero más húmedo.

El primer pulso de la PEF se extendió desde las primeras décadas del siglo XV hasta el final del XVI. Datos arqueológicos hallados en el NE de la región, han establecido que el siglo XV fue marcado por una clara declinación del sistema indígena. Una crisis generalizada existió antes del contacto de los conquistadores Españoles (Laguens and Bonin, 1987). Análisis demográficos del período 1500 – 1700 AD (Anno Domini) muestran una situación caracterizada por un malestar (stress) provocado por el deterioro del ambiente (decrease in environmental suitability).

El segundo pulso de la PEF comenzó al inicio del siglo XVIII y se extendió hasta el comienzo del XIX. Es el más frío del PEF. Los glaciares en los Andes del Sur alcanzaron su mayor avance mientras las planicies del centro soportan intensas sequías.

Durante este pulso (el principal), la provincia climática de la Patagonia (árida y fría) avanzó entre 300 y 400 km al NE, aproximadamente sobre el paralelo 34 (Iriondo y García,

1993). Este pulso frío puede ser relacionado con el Mínimo de Maunder (Minimum of Solar Activity), el que incluye el intervalo entre 1650 y 1770 AD (Riccardi, 1995).

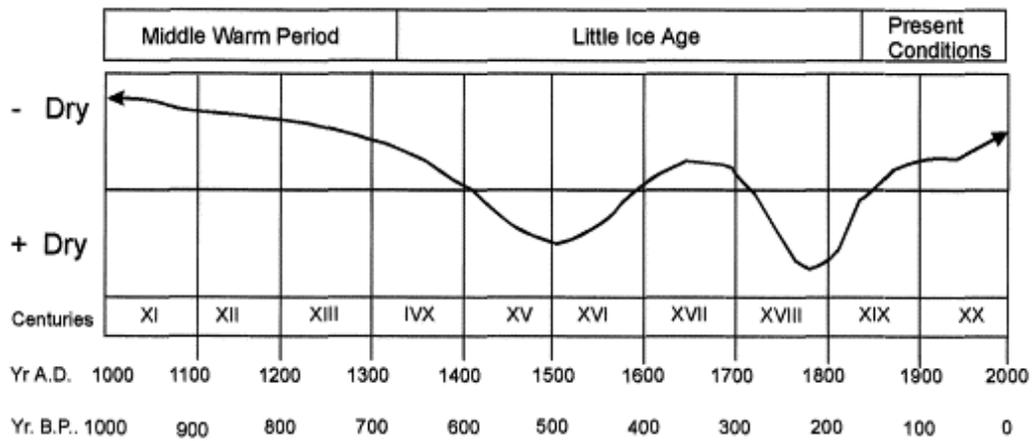


Figura N° 5. Fluctuaciones climáticas en la Región Central de Argentina durante los últimos 1000 años (Cioccale, 2000).

HIPOTESIS

La ocurrencia de horizontes argílicos en los suelos de la Hoja Estancia Cañada Verde pueden deberse:

- A la presencia de materiales loessicos francos, antiguos, no recubiertos e intercalados actualmente con una deposición franco arenosa más moderna.
- A la contemporaneidad de ese material loessico con un paleoclima más húmedo.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Realizar un análisis genético comparativo de los suelos Argiustoles típicos (Serie Estancia Cañada Verde), y Haplustoles énticos (Serie El Veintitrés).

ESPECÍFICO:

- Interpretar el origen de los horizontes genéticos del perfil a través de la interpretación de datos morfológicos, granulométricos, paleoclimáticos, químicos y de relieve.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos a estudiar comprenden un área ubicada a 8 Km al sudoeste de Villa Huidobro, Departamento Gral. Roca, Provincia de Córdoba.

El clima es templado subhúmedo; el promedio anual de precipitaciones es de 750 mm y su distribución monzónica. El área corresponde a la pampa medanosa, llanura loessica (Agencia Córdoba Ambiente, 2006). Los suelos objeto de estudio de este trabajo integran las unidades cartográficas MKtc 7, MKtc 12 (Atlas de Suelos de la Provincia de Córdoba, 2006).

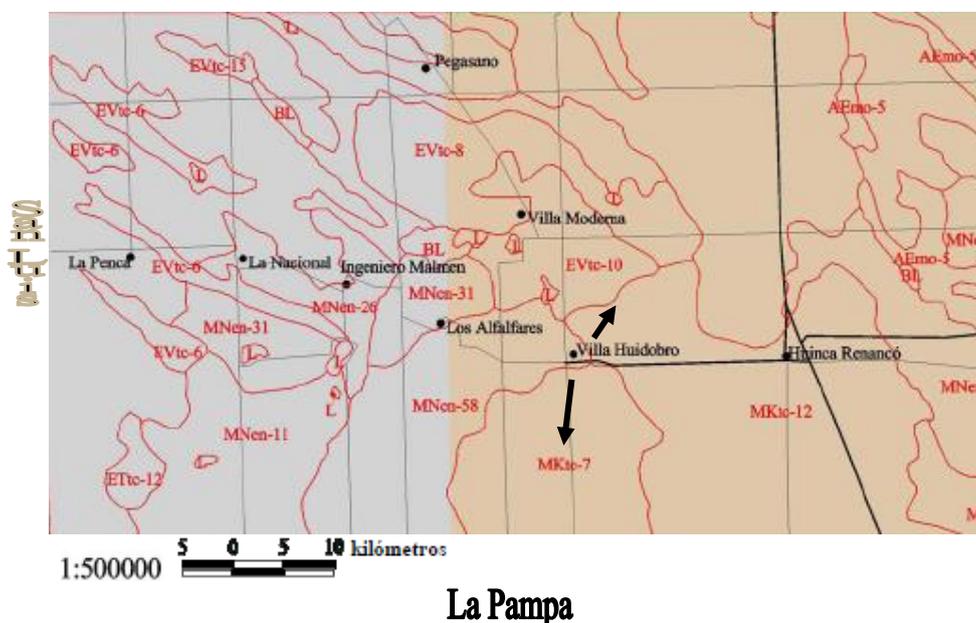


Figura N°6. Unidad cartográfica correspondiente a los perfiles estudiados.

La información que brinda el Atlas de Suelos de la Provincia de Córdoba, se correlacionó con datos obtenidos a campo mediante la descripción de las condiciones de relieve y drenaje. Además, se cavó una calicata en cada subgrupo de suelos de la unidad cartográfica, y se describieron los respectivos perfiles según Echevehere (1976).

Posteriormente se muestrearon los horizontes de cada uno de los perfiles descriptos realizándose las siguientes determinaciones:

- Análisis granulométrico, siguiendo el método de dispersión (pretratamiento) según Gee y Bauder (1986) y determinación de tamaño y proporción de partículas por dispersión de rayos láser.
- Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Intercambiables (Page, 1986).
- Determinación de Materia Orgánica, Método de Walkley Black, con titulación modificada según Mebius (1960) (Olsen y Sommers, 1982).
- Determinación de bases totales, Método de Knudsen y Peterson (1982).
- Determinación de fósforo total de la fracción mineral del horizonte C (o Ck), Método de Olsen y Sommers (1982).
- Determinación de fósforo ocluido, Método de M. L. Jackson (1964).

La primera determinación mencionada, tiene como objetivo establecer una relación entre los materiales de origen de los distintos perfiles y su grado de evolución relativa.

La segunda y tercera permiten estimar el tipo o tipos de arcillas presentes para establecer diferencias o semejanzas entre perfiles.

Con la cuarta determinación se pretende establecer la riqueza en bases del material original en cada caso, lo cual es importante puesto que esto tiene una fuerte influencia de la génesis, a la vez que esta misma información conjuntamente con el dato de fósforo total permiten discernir entre distintos materiales de origen y estado de madurez del suelo, complementándose parcialmente lo expuesto con las determinaciones del punto uno.

III. RESULTADOS

SANTA EUFEMIA. Argiustol Típico.

Este perfil fue descrito a 15 Km al SO de Villa Huidobro, Departamento General Roca, Provincia de Córdoba y corresponde a la unidad cartográfica MKtc- 7. Es un suelo bien drenado vinculado a lomas y pendientes, desarrollado sobre materiales franco arenosos. Relieve normal.

Los datos analíticos pertenecientes al perfil descrito se detallan en la Tabla N° 1.

Descripción del perfil típico:

Descripción morfológica

A₁ 0-14 cm Color en seco, 10 YR 4/2 (pardo grisáceo oscuro), en húmedo, 10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro) franco limoso, estructura en bloques subangulares medios y gruesos, moderados.

Bt₁ 14-29 cm Color en seco, 10 YR 4/3 (pardo a pardo oscuro), en húmedo, 10Y/R 3/2, (pardo grisáceo muy oscuro), franco limoso, estructura prismática que rompen a bloques subangulares medios y fuertes, barnices débiles, estructuras prismáticas.

Bt₂ 29-39 cm Color en seco, 10 YR 5/4 (pardo amarillento), en húmedo, 10 YR 4/2 (pardo grisáceo oscuro), franco limoso a franco, estructura prismática de bloques subangulares, gruesos y medios fuertes.

Bt₃ 39-47 cm Color en seco, 10 YR 6/4 (pardo amarillento claro), en húmedo, 10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro) franco limoso a franco, estructura en bloques subangulares, gruesos y moderados.

Ck_{1m} 47-59 cm Color en seco, 10 YR 6/4 (pardo amarillento claro), en húmedo, 10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro) franco a franco limoso, estructura en bloques subangulares, gruesos y moderados.

Ck₂ 59- 72 cm Color en seco, 10 YR 6/4, (pardo amarillento claro), en húmedo, 10 YR 3/3 (pardo oscuro), franco.

Ck₃ 73 cm en adelante. Color en seco, 10 YR 7/4, (pardo y pálido), en húmedo, 10 YR 4/3 (pardo a pardo oscuro), franco a franco limoso.

Tabla N° 4: Datos analíticos del Argiustol típico.

Perfil		A ₁	Bt ₁	Bt ₂	Bt ₃	Ck _{1m}	Ck ₂	Ck ₃
Prof. Muestra, cm		0-14	14-29	29-39	39-47	47-59	59-72	73 en +
Mat. orgánica %		2.34	1.44	0.90	0.91	0.73	0.43	0.40
Arcilla (<2μ) %		18.93	21.40	23.91	23.39	21.36	20.01	21.37
Limo (2-50μ) %		64.51	59.94	46.93	49.21	47.08	45.12	48.10
Arenas (50-2000μ)		16.56	18.66	29.16	27.40	31.56	34.87	30.53
pH en H ₂ O (1:2,5)		6.54	6.88	7.02	7.90	8.25	8.27	8.32
pH en H ₂ O (1:1)		6.23	6.72	6.85	7.79	8.04	8.11	8.12
Cationes de cambio (me/100g)	Ca ⁺⁺	10.77	14.80	15.57	calcáreo	calcáreo	calcáreo	calcáreo
	Mg ⁺⁺	2.38	2.91	2.41	1.47	1.15	1.39	1.23
	Na ⁺	0.30	0.60	0.30	0.50	0.20	0.20	0.20
	K ⁺	2.20	2.10	1.87	1.56	1.36	1.28	1.23
Σ de Bases (me/100g)		15.65	20.41	20.15	Sat	Sat	Sat	Sat
Bases totales (me/100g)	Ca	28.60	37.88	40.71	96.03	93.90	105.44	117.06
	Mg	38.80	65.99	57.77	84.49	61.06	82.44	60.44
	K	21.03	22.08	21.51	20.40	19.38	19.38	20.00
	Na	18.28	16.66	17.43	14.12	15.38	17.26	18.50
CIC (me/100g)		20.51	22.56	21.71	17.64	18.46	18.46	18.05
Sat. Bases S/T (%)		76	90	92	---	---	---	---
Saturación de Bases con respecto a la CIC (me/100g)	Ca	52.51	65.60	71.71	---	---	---	---
	Mg	11.60	12.89	11.10	8.33	6.22	7.52	6.64
	Na	1.46	2.65	1.38	2.83	1.08	1.08	1.10
	K	10.72	9.30	8.61	8.84	7.36	6.93	6.81
P ocluido (ppm)		0.005	0.008	0.007	0.005	0.013	0.030	0.019
P total (ppm)		637.10	680.00	758.60	761.00	703.80	625.80	248.90

COME-CO CHICO. Haplustol éntico

Este perfil fue descripto a 12 Km al NE de Villa Huidobro, Departamento General Roca, Provincia de Córdoba y corresponde con la unidad cartográfica MKtc 12. Suelos de lomas y medias lomas. Algo excesivamente drenado, profundo (más de 100 cm).

Relieve normal.

Los datos analíticos pertenecientes al perfil descripto se encuentran en el cuadro.

Descripción del perfil típico:

Descripción morfológica

A 0-14 cm Color en seco, 10 YR 7/6 (amarillo), en húmedo, 10 YR 4/3 (pardo a pardo oscuro) arenoso a arenoso franco, bloques subangulares finos y débiles.

Ac₁ 14-39 cm Color en seco, 10 YR 6/4 (pardo amarillento), en húmedo 10 YR 4/3 (pardo a pardo oscuro), arenoso franco, bloques subangulares medios y débiles.

Ac₂ 39-66 cm Color en seco, 10 YR 7/6 (amarillo), en húmedo, 10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro), arenoso a arenoso franco, bloques subangulares medios y débiles.

C 66 cm en adelante. Color en seco, 10 YR 7/6 (amarillo), en húmedo, 10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro), arenoso a arenoso franco, bloques subangulares medios y débiles.

Tabla N°5: Datos analíticos del Haplustol entico.

Perfil	A	Ac ₁	Ac ₂	C	
Prof. Muestra, cm	0-14	14-39	39-66	66 en +	
Materia orgánica %	1.54	0.90	0.83	0.60	
Arcillas(<2μ) %	4.36	6.32	3.99	4.25	
Limo(2-50μ) %	9.73	15.02	8.46	10.54	
Arenas (50-2000μ) (%)	85.91	78.66	87.55	85.21	
pH en H ₂ O (1:2,5)	6.00	6.63	7.04	7.43	
pH en H ₂ O (1:1)	5.78	6.50	7.01	7.08	
Cationes de cambio (me/100g)	Ca ⁺⁺	4.56	4.43	4.29	5.18
	Mg ⁺⁺	1.61	2.00	2.05	2.37
	Na ⁺	0.30	0.20	0.20	0.15
	K ⁺	0.95	0.77	0.64	0.50
Σ de Bases (me/100g)	7.42	7.40	7.18	8.20	
Bases totales (me/100g)	Ca	19.05	24.52	23.43	24.05
	Mg	23.64	26.52	30.22	27.55
	K	15.56	18.92	17.69	16.48
	Na	9.04	14.25	13.87	11.99
CIC (me/100g)	7.07	7.07	6.36	6.66	
Sat. Bases S/T (%)	---	---	---	---	
Saturación de Bases con respecto a la CIC (me/100g)	Ca	64.49	62.65	67.45	77.77
	Mg	22.77	28.28	32.23	35.58
	Na	4.24	2.82	3.14	2.25
	K	13.43	10.89	10.06	7.50
P ocluido (ppm)	0.323	0.030	0.010	0.009	
P total (ppm)	449.50	416.20	406.70	398.40	

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Desde este punto de vista, aunque ambos suelos se encuentran ubicados en el mismo ámbito geográfico – climático, y en parte superpuestos (enterrados), resultan ser muy diferentes.

Sin entrar en consideraciones vinculadas a la definición por clase que da el triángulo textural, se ve claramente que se trata de materiales de naturaleza distinta; independientemente de las proporciones de arena y limo de cada una de ellas, la fracción arcilla, que es el material inorgánico mineral de reactividad química y coloidal prácticamente instantánea del suelo se halla en una relación de aproximadamente 4 : 1 (Argiustol 20% : Haplustol 5%) entre ambos suelos; esta condición nada más, si bien no es desechable la importancia de la fracción limo-arena, tiene una destacada influencia sobre el desarrollo de un suelo. El nivel de nutrientes y el contenido hídrico del suelo, por ejemplo, son dos propiedades con una influencia importante sobre el factor biótico, quien a su vez desencadena complejos procesos de génesis y por ende afecta a la formación del suelo en su conjunto. Si se considera la fracción esquelética, solo desde el punto de vista de su tamaño y no su composición química, condiciones tales como la aireación-oxidación, dinámica térmica y susceptibilidad a la erosión resultan también muy trascendentes.

Los datos que anteceden respecto al contenido de P y bases totales (Tablas N° 4 y N° 5) provienen del análisis químico realizado sobre el extracto obtenido con ácido perclórico (Olsen y Dean, 1965) para la determinación del fósforo. Si bien este método de solubilización no incluye las formas minerales más resistentes al ataque químico, representa a una fracción relativamente lábil e importante de ellas y por lo tanto permite establecer diferencias en el material original de un suelo. Debe agregarse que este nivel de bases está relacionado con la dinámica de las mismas en un suelo dado (Secuencia Bases totales → Bases intercambiables → Bases solubles) y por lo tanto influyen en su génesis, ya que aparte de su función de nutrientes determinan el grado de saturación del coloide edáfico, asociado al pH y el estado coloidal.

La composición química de la fracción mineral de un suelo puede variar ampliamente, como lo hace también la distribución del tamaño de partículas que lo constituyen. Esta relación, – composición química – tamaño, es en realidad muy compleja, ya que, como es bien sabido, la superficie específica de las partículas aumenta rápidamente cuando el tamaño de estas disminuye, incrementándose el área reactiva de las mismas; al mismo tiempo, la capacidad de retener agua aumenta con lo que se incrementan los períodos durante los cuales tales reacciones son posibles. Hay entonces tres factores que interactúan –

naturaleza química – tamaño – humedad – cada uno de los cuales puede ser distinto por sí mismo y por ende han de formar conjuntos con dinámicas muy diferentes y que finalmente se reflejan en las características de cada suelo.

Se considera generalmente que el material parental de un suelo actúa como factor pasivo sobre diversos procesos de génesis que tienen lugar durante el desarrollo del mismo. Sin embargo, es fácil darse cuenta la fuerte influencia que ejerce tal factor al observar que ciertos límites geográficos entre suelos están dados por la naturaleza del material de origen y no por el clima. Tal ocurre por ejemplo, entre Molisoles y Vertisoles o Molisoles y Alfisoles en la República Argentina.

Sobre este tema, resulta muy ilustrativo un trabajo de Iriando y Kröhling (2004), donde se describe un grupo de paleosuelos que se desarrollaron en la Cuenca del Río Uruguay durante el Optimo Climático del Holoceno, entre 8500 y 3500 años antes del presente. Analizando los factores de formación, se llegó a la conclusión de que el clima en ese período fue homogéneo y más húmedo que el actual, (con 200 – 300 mm más de precipitación por año), que la vegetación y el relieve tuvieron en este caso baja influencia sobre la génesis y que el tiempo de desarrollo de los suelos fue el mismo para todo el área. Por el contrario, no ocurría lo mismo con los materiales parentales, los que formaban un mosaico complejo cuya granulometría y mineralogía pasaron a dominar los procesos pedogenéticos, formándose suelos tan diferentes como Alfisoles, Ultisoles, Vertisoles, un suelo con horizonte plintítico (Plintisol: puede ser Oxi - o Ultisol) y Andosoles en lugares donde la génesis fue interrumpida por la acumulación de cenizas volcánicas.

Si bien los dos suelos que se muestran aquí, desde los puntos de vista observados resultan muy diferentes, no lo es tanto si se los observa con respecto al estado de su complejo coloidal, ya que muestran semejanzas trascendentes. La primera de ellas es que ambos suelos corresponden al Suborden de los Ustoles (Argiustoles típicos y Haplustoles énticos); además el pH, una variable de síntesis, oscila dentro de valores semejantes y dentro de límites que no indican, como es de esperar, ningún proceso de génesis ajeno a la clasificación establecida. No obstante ello, las diferencias entre ambos suelos son ampliamente cuantitativas y sus propiedades guardan una estrecha relación entre sí y así se puede ver que:

1. La CIC derivada del complejo coloidal, guarda estrecha relación con la cantidad del mismo; es mayor en el Argiustol, que contiene en general más materia orgánica que el Haplustol, superándolo a su vez por prácticamente cuatro veces en la cantidad de arcillas de este último.

2. Capacidad de intercambio catiónico de las arcillas: Asumiendo una CIC constante de la materia orgánica, de 2.5 me.g^{-1} , según Porta et al. (1994), se puede comprobar que la CIC de las arcillas resulta muy similar en ambos suelos y que la misma aumenta con la profundidad en el Haplustol, lo que ocurre en la mayoría de los suelos en el área del Departamento Río Cuarto (Hampp et al., 1986), siendo esta diferencia mayor en los suelos de textura más gruesa; en el Argiustol este fenómeno aparece como duplicado, lo que coincide con las observaciones y descripciones morfológicas, donde el horizonte Bt_3 parece ser un horizonte enterrado (no fósil), posiblemente un A que posteriormente fue invadido por arcillas provenientes del lavado (ilmerización) de arcillas de horizontes actuales (Iriando y Garcia, 1993) o bien un Bt que se resistió a un proceso erosivo y fue cubierto en procesos posteriores de sedimentación de materiales de origen eólico.

Tabla N° 6: Aporte de la materia orgánica y de la arcilla a la CIC de ambos suelos.

	Haplustol				Argiustol						
	A	AC1	AC2	C	A ₁	Bt ₁	Bt ₂	Bt ₃	Ck _{1m}	Ck ₂	Ck ₃
Aporte de la MO (me/100 g)	3,85	2,25	2,07	1,5	5,85	3,6	2,25	2,27	1,82	1,07	1
Aporte de la arcilla (me/100 g)	3,22	4,82	4,29	5,16	14,66	18,96	19,46	15,37	16,64	17,39	17,05
CIC arcillas (me/100 g)	73,85	76,26	107,51	121,41	77,44	88,59	81,38	66,71	77,90	86,90	79,78

3. Saturación de cada base: Si se calcula la saturación individual con bases de ambos suelos, se podrá notar que existen diferencias y semejanzas que acusan las influencias de las características de los cationes saturantes en sí, por un lado, y por otro el efecto dinámico del material original.

4. El Ca parece encontrarse en una relación normal respecto a la CIC en ambos suelos, pero pueden hacerse algunas consideraciones: el A1 del Argiustol tiene un valor menor que el de los siguientes horizontes (excluyendo los Ck), lo que coincide con el de la mayor parte de los suelos cultivados. En el Haplustol, el valor del A es notablemente alto para un suelo cultivado con baja capacidad de restitución; quizá la respuesta está en parte en que el suelo sea más nuevo y/o a la renovación del material original por procesos morfogénicos actuales (Erosión – Aporte).
5. El Mg muestra dos secuencias en el Argiustol, ya que disminuye abruptamente en el Bt₃ (por lo general el Mg es independiente del CO₃Ca) y su concentración resulta similar a la del K; en el Haplustol, en cambio, la concentración de este catión se encuentra duplicada y hasta cuadruplicada según los horizontes, con respecto al Argiustol.

IV. CONCLUSIONES

La presencia de dos suelos cuantitativamente muy diferentes tanto desde el punto de vista físico como químico, que se encuentran asociados y parcialmente superpuestos en un área determinada, es una cuestión geomorfológica vinculada al transporte y selección de materiales originales por efectos hídricos y/o eólicos a través de largos períodos de tiempo (siglos – milenios), durante los cuales suelos ya formados, son total o parcialmente erodados y luego cubiertos por nuevos materiales originales generalmente de naturaleza distinta. Estas coberturas por lo general no son necesariamente completas en el sentido areal y sus formas responden al agente de transporte implicado. Así, por ejemplo es fácil encontrar materiales de textura diferente, como es el caso tratado aquí, donde el límite entre uno y otro sedimento es bastante abrupto y que origina suelos que se diferencian prácticamente a simple vista, tanto por los caracteres internos como los externos.

La racionalización de las descripciones morfológicas y los resultados de los análisis de los perfiles estudiados, muestra a todas luces que se trata de dos materiales distintos tanto desde el punto de vista químico como el granulométrico – mineralógico y que por lo tanto, ante esas diferencias tan evidentes del sustrato, la génesis de los respectivos suelos ha de ser necesariamente distinta, al menos desde el punto de vista cuantitativo; al mismo tiempo esto permite deducir que ambos suelos no son contemporáneos en cuanto a sus fases de desarrollo y obviamente son distintas sus edades.

Cabe luego la pregunta del porqué de esa superposición y aún mezcla de materiales: La respuesta está en el análisis de los eventos climáticos del pasado relativamente cercano, en el orden de algunos miles de años, que comprende el Pleistoceno tardío y el Holoceno (Tabla N° 2).

Estos eventos que afectaron intensamente a la Llanura Pampeana, son una consecuencia de que una porción continental de Sudamérica, particularmente Argentina, es relativamente angosta y está encerrada por dos océanos, generadores de centros anticiclónicos – uno en el Pacífico y otro en el Atlántico – (En el Pacífico existen además importantes corrientes marinas vinculadas al fenómeno de El Niño), a lo que debe sumarse un centro anticiclónico continental que gira en sentido antihorario y cuyos efectos son bien visibles en las Figuras N° 2 y N° 3. Además de estos, existen otros circuitos eólicos como los provenientes del oeste, desde la cordillera y otros como los denominados “Jet” como el SALLJ (South American Low Level Jet), verdaderos “chorros” de viento que operan a

distintas alturas produciendo variaciones climáticas de distintos ciclos que se superponen en el tiempo. Lógicamente que todos estos procesos que operan sobre el SEP están íntimamente vinculados a las fluctuaciones térmicas ocasionadas por las oscilaciones de la actividad solar.

Se tiene así un cuadro que sintetiza una serie de eventos que tienen que ver con el transporte de los materiales formadores de suelos, teniéndose también aquí un panorama de lo más diverso en los aspectos granulométricos y mineralógicos: hay aportes de la Cordillera de los Andes desde el NO hasta el SE del país; también los hay desde el sistema de las Sierras Pampeanas e incluso de las divagaciones antiguas del Paraná, pudiéndose sumar a estos acontecimientos las erupciones de cenizas volcánicas capaces de invadir vastas zonas del país y que precisamente en estos últimos años han podido ser observados. Estos aportes son transportados por el agua y/o el viento, en sucesivas etapas, en las cuales generalmente sufren una selección más que nada granulométrica y parcialmente química, pasando sus depósitos a ocupar vastas áreas del país interfiriendo en la génesis de los suelos, ya sea cubriéndolos parcialmente – en cuyo caso puede ocurrir una mezcla con los materiales originales del suelo – o bien totalmente, cubriendo al suelo “antiguo” y dando lugar de la formación de uno nuevo.

Un ejemplo claro e interesante respecto a las cuestiones consideradas en estas conclusiones lo constituye la formación San Guillermo, un depósito eólico con un espesor de entre 20 y 80 cm, que ocupó La Pampa, Chaco Boliviano, Paraguay, Argentina y zonas circundantes a Brasil y Uruguay. Esta surgió como consecuencia de un clima semiárido y ventoso que se instaló en las planicies argentinas y zonas adyacentes en el Holoceno Tardío, entre 3,5 y 1,4, probablemente 1,0 ka AP.

La actividad eólica dominante provocó la deflación de materiales edáficos superficiales, particularmente del horizonte A de Alfisoles desarrollados durante el Optimo Climático del Holoceno, acontecimiento ocurrido entre 8,5 a 3,5 ka AP. Estos materiales formados por limos eólicos se depositaron sobre el área indicada en el párrafo anterior, que había sido previamente erodada, dejando un Bt expuesto y que corresponde a la Formación Hernandarias.

Se comenzó a desarrollar entonces sobre el material depositado en la superficie truncada de la Formación citada un nuevo suelo (aproximadamente 1ka. AP), acorde a las condiciones imperantes del momento y que pertenece a la Formación San Guillermo.

La veracidad de este hecho se pudo comprobar por la secuencia granulométrica de los materiales minerales depositados (arena eólica, loess arenoso, loess típico) y por las formas del paisaje que evidencian los procesos eólicos actuantes.

V. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE 2006.
- ATLAS DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA 2006.
- BARDAJI, T. Y C. ZASO 2009 **Enseñanza de la Ciencia de la Tierra**. (17.1) 37 – 43.
ISSN: 1132-9157.
- BEEN, D.I. Y D.J.A. EVANS 1998 **Glaciers and Glaciation**. Arnold, London. 734 pp.
- BUOL, S.W.; F.D. HOLE Y R. J. MCCRACKEN 1981 **Génesis y clasificación de suelos**.
Editorial Trillas, S.A. México.
- BUOL, S. W.; F.D. HOLE Y R. J. MCCRACKEN Y R.J. SOUTHARD 1997 **Soil Genesis and Classification**. Fourth Edition. Iowa State University Press / Ames. USA.
- CANTÚ, M. Y S. DEGIOVANNI, 1984 **Geomorfología de la región centro-sur de la provincia de Córdoba**. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 4, Bariloche, Argentina, pp 76-92.
- CARIGNANO, C. 1997 Caracterización y evolución, durante el Cuaternario Superior, de los ambientes geomorfológicos en el noroeste de la provincia de Córdoba. Tesis doctoral.
- CATT, J. 1990 Ed. **Paleopedology Manual**. Quaternary International 6, 1-95.
- CATT, J. 1991 **Soils as indicators of Quaternary climatic change in mid-latitude regions**. Geoderma 51, 167-187.
- CIOCCALE, M. A. 2000 **Climatic fluctuations in the central region of Argentina in the last 1000 years**. Quaternary International 62, 35-47.
- CLAPPERTON, C. 1993 **Quaternary Geology and Geomorphology of South América**. Elsevier, Amsterdam. 779 pp.
- DUCHAUFOR, P. 1984 **Edafología. I. Edafogénesis y Clasificación**. 1^{era} Edición. Masson. Barcelona, España.
- ETCHEVEHERE, P. 1976 **Normas de reconocimiento de suelos**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 211 p. Castelar, Argentina.
- FIDALGO, F., F. DE FRANCESCO Y U. COLADO 1973 **Geología superficial de las Hojas Castelli, Cobos y Monasterio** (Prov.de Buenos Aires). V Congreso Geológico Argentino. Actas 4, Carlos Paz, Argentina, pp 27-39.

- FIGINI, A., CARBONARI, J. Y R. HUARTE 2003 Geosuelo Puesto Callejón Viejo. Su posición cronológica y relación con eventos paleoclimáticos. Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Actas 1. Tucumán, Argentina, pp 93-100.
- GARCÍA, N. 1994 **South American climatology**. Quaternary International 21, 7-27.
- GEE, G.W. Y J. W. BAUDER 1986 Particle-size Analysis; In: Methods of Soil Analysis, Part.1º, Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Amer. Soc. Agr., Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, USA.
- GONZALEZ, A., M. AGUIRRE, S. MIGUEL, D. KRÖHLING, A. ZUCOL, Y M. BREA 2008 Malacofauna continental holocena y paleoambientes en Villa Valle María (Departamento Diamante, Entre Ríos, Arg.) 4th Congreso of the Regional Comité on Atlantic Neogene Stratigraphy (RCANS; IUGS; J. Gonzalez Delgado and J. Civis, Eds.) Abstracts, Buenos Aires, Argentina, pp. 617 – 628.
- GROSJEAN, M., I. CARTAJENA, M. GEYH Y L. NUÑEZ 2003 From proxy data to paleoclimate interpretation: the mid Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 194, 247-258.
- HAMPP, E., I. MORENO Y A. CANTERO 1986 Análisis del comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico de Suelos del Departamento Río Cuarto. Revista de la UNRC 6 (2): 167-170.
- IRIONDO, M. 1985 Geología y Geomorfología. Su relación con la Edafología. INTA EEA Rafaela Santa Fé Argentina.
- IRIONDO, M. 1990 **A Late Holocene Dry Period in the Argentine Plain**. In: Rabassa, J.R. (Ed). Quaternary of South América and Antarctic Península, vol 7. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 197-218.
- IRIONDO, M. 1994 **Los climas cuaternarios de la Región Pampeana**. Com. Mus. Prov. Cs. Naturales “Florentino Ameghino” 4 2, pp 1 – 48.
- IRIONDO, M. H. 1997 Models of Deposition of Loess an Loessoids in the Upper Quaternary in South América. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 10. N° 1. pp 71-79. Elsevier Science Ltd.
- IRIONDO, M.H. 1999 **Climatic changes in the South American plains.: Records of a continental – scale oscillation**. In: Partridge, T., Kershaw, A., Iriondo, M. (Eds) Quaternary Paleoclimates in the Southern Hemisphere Quaternary International 57,58, pp. 93 – 112.

- IRIONDO, M.H. Y N.O. GARCÍA 1993 **Climatic variations in the Argentine plains during the last 18.000 years**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 101(3-4):209 – 220 (Note: Periods of aeolian sand and loess deposition).
- IRIONDO, M. Y D. KRÖHLING 1995 **El Sistema Eólico Pampeano**. Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales “Florentino Ameghino”, vol.5 pp. 1-68.
- IRIONDO, M.. Y D. KRÖHLING 2008 **Cambios ambientales en la cuenca del Río Uruguay** (desde 2 Ma. hasta el presente). Ediciones UNL – Universidad Nacional del Litoral, Santa Fé, Argentina. 358 pp.
- IRIONDO, M. Y D. KRÖHLING 2004 The Parent Material as the Dominant Factor in Holocene Pedogenesis in the Uruguay River Basin. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 21, pp 175-184.
- IRIONDO, M. H. Y D. KRÖHLING 2007 **Non-classical types of loess**. *Sedimentary Geology* 202 , 352 – 368.
- IRIONDO, M. H., E. BRUNETTO Y D. KRÖHLING 2009 **Historical climatic extremes as indicators for typical scenarios of Holocene climatic periods in the Pampean Plain**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 283, 107 – 119.
- JACKSON, M. L. 1964 **Análisis químico de suelos**. Ediciones Omega. Barcelona.
- KEMP, R., P. TOMS, M. KING Y D. KRÖHLING 2004 The Pedosedimentary Evolution and Chronology of Tortugas, a Late Quaternary Type-site of the Northern Pampa, Argentina. 101-112.
- KRÖHLING, D. Y M. IRIONDO 2005 Pedogenic processes registered in Quaternary eolian sequences of Pampa, Argentina. International Conference “Global Soil Changes” (IUSS, UNAM). Abstracts, México, pp. 41-42.
- KNUDSEN, D. Y G. A. PETERSON 1982 Total Analysis. In A. L. Page (ed) *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Inc. and SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- MONASTERSKY, R. 1994 Staggering through the Ice ages. *Science News* 146, 74-76.
- MORRISON, R. 1978 Quaternary soil stratigraphy – concepts, methods and problems. In: Mahaney, W. (Ed), “Quaternary Soils”. *Geo Abstracts*, Norwich, pp. 77-108.
- MURCK, B.W. Y B.J. SKINNE 1995 *Environmental Geology*. Wiley, New York, 535 pp.
- OLSEN, S.R. Y L.A. DEAN 1965 Total Phosphorus. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison, Wisconsin USA.

- OLSEN, S.R Y L.E. SOMMERS 1982 Total Phosphorus. In A. L. Page (ed) Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Inc. and SSSA, Inc. Madison, Wisconsin USA.
- PAGE (ed) 1986 Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Inc. and SSSA, Inc. Madison, Wisconsin USA.
- POLITIS, G. 1984 Climatic variations during historical times in Eastern Buenos Aires Pampas Argentinas. Quater of South Amer. and Ant. Pen. Vol. 2, pp. 133-161. View Record in Scopus/ Cited By in Scopus (10).
- PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO Y C. ROQUERO 1994 **Edafología para la agricultura y el medio ambiente**. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- RABASSA, J., A. BRANDANI, J. BONINSEGNA Y D. COBOS 1984 Cronología de la Pequeña Edad de Hielo en los Glaciares Río Manso, Castaño Overo y Tronador, Pcia. de Río Negro. IX Con. Geol. Arg. Actas. III, pp. 624-639.
- RECURSOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA 2006 Los Suelos. Agencia Córdoba Ambiente. Gobierno de Córdoba. INTA- EEA MANFREDI.
- RICCARDI, C. 1995 Paleoclima. Cambio Global. Publ. Esp. Acac. Nat. de Geogr. 10, pp. 91-126.
- SOIL TAXONOMY 1999 Soil Survey Staff. USDA. Natural Resources Conservation Service. Agriculture Handbook N° 436. 2nd Edition. Washington D.C.
- SUMMERFIELD, M.A. 1991 Global Geomorphology. An introduction to the study of Landforms. Longman Scientific & Technical, New York. 537 pp.
- TONNI, E., A. CIONE, A. FIGINI, J. NORIEGA, A. CARLINI, Y S. MIGUEL 2001 Extensión del período árido del Holoceno hasta los siglos X a XIII basada en el registro de moluscos terrestres en Entre Ríos. (Argentina) Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo. Actas. Montevideo, pp. 1-5.
- WIGGS, G.F. 1997 Sediment Mobilization by the Wind. In: Thomas, D.S. (Ed), Arid Zone Geomorphology: Process. Form and Change in Drylands. John Wiley & Sons, New York, pp. 351-372.
- WILKIPEDIA 2011 La Enciclopedia Libre. El Cuaternario.