

## MATERIAL ORIGINARIO Y SUELOS ENTERRADOS EN LA LLANURA DE TUCUMÁN

RODOLFO ZAPPINO<sup>1\*</sup>; MARIO CANTÚ<sup>1</sup> & ANALÍA BECKER<sup>1</sup>

Recibido: 21-04-15

Recibido con revisiones: 11-03-16

Aceptado: 21-04-16

### RESUMEN

Se seleccionaron cuatro perfiles de suelo en la Llanura de Tucumán con el objetivo de caracterizar el material originario, evaluar su homogeneidad y establecer su edad en base a dataciones absolutas, en suelos de representatividad regional. Se propone una correlación de los depósitos identificados mediante la implementación de un Índice Mineralógico Normativo. En todos los suelos el tamaño promedio de grano es de limo grueso y los materiales mal seleccionados. El análisis textural permitió identificar unidades deposicionales separadas por discontinuidades. El material originario de los suelos actuales y suelos enterrados corresponden a loess típico. Los fechados obtenidos señalan una edad de  $9970 \pm 420$  AP para la base de los suelos enterrados y  $1780 \pm 350$  años AP para la base de los suelos actuales en las regiones del Pedemonte Húmedo-Perhúmedo y Llanura Chaco Pampeana Húmeda-Subhúmeda u Occidental. La correlación mineralógica normativa propuesta en base al Índice Ortoclasa/Anortita, sugiere una correlación que separa los suelos actuales de los enterrados en toda la transecta. El análisis mineralógico señala esencialmente dos poblaciones minerales: una mayoritaria de origen vulcanoclástico que sugiere un aporte eólico de procedencia andina de composición riolítica-andesítica. Una población minoritaria procedente del basamento cristalino a la que se suma un aporte directo de lluvia de cenizas volcánicas de composición riolítica. La mineralogía encontrada en el material originario de los suelos indica claramente que estas fuentes: andina, basamento cristalino y aporte directo de lluvia de cenizas volcánicas, han sido prácticamente las mismas durante todo el Holoceno.

**Palabras clave.** Material originario, sedimentología, mineralogía normativa en suelos, Provincia de Tucumán.

### ORIGINAL MATERIAL AND BURIED SOILS IN THE TUCUMAN PLAIN

#### ABSTRACT

Four profiles were selected in the Tucumán Plain in order to characterize the original material, evaluate its homogeneity and establish their date based on absolute dating in soils of regional representativeness. A correlation was proposed of the identified deposits through the implementation of a Normative Mineralogical Index. In all profiles average grain size is coarse silt and the materials are poorly selected. Textural analysis allowed the identification of depositional units separated by discontinuities. The original material of the present and buried soils were classified as typical loess. Dating indicated an age of  $9970 \pm 420$  years B.C. for the base of the buried soils and  $1780 \pm 350$  years B.C. for the present soils in the regions of the Humid-Perhumid Pedemountain Plain and Humid-Subhumid or Western Chaco Pampean plain. Normative mineralogical correlation proposed based on the Orthoclase/Anorthite index suggested a correlation that separated the present from the buried soils in all the transect. The mineralogical analysis essentially points out two populations: a majority of vulcaniclastic source which suggests an Andean contribution of rhyolitic-andesitic composition and a minor population from the crystalline basement plus the direct contribution of rain volcanic ashes of rhyolitic composition. The mineralogy found in the soil parent material clearly indicates that andean, crystalline basement and direct input from volcanic ashfall are sources that have been virtually the same throughout the Holocene.

**Key words.** Original material, sedimentology, normative mineralogy in soils, Tucumán province.

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Río Cuarto.

\*Autor de contacto: zappinorodolfo@yahoo.com.ar

## INTRODUCCIÓN

Los sedimentos eólicos que cubren la llanura tucumana, son el material originario de la mayoría de los suelos de la región. Identificados por varios investigadores como *loess* o *sedimento loésico* han sido mencionados y descritos en numerosos trabajos de índole geomorfológico, pedológico o estratigráfico (Röhmeder, 1945; González Bonorino, 1950; Zuccardi, 1969; Zuccardi & Fadda, 1972, 1985; Vargas Gil, 1990; Sayago *et al.*, 1998a, 1998b; Moscatelli *et al.*, 1998).

Estos sedimentos se encuentran ampliamente distribuido en la provincia: se observan en los valles intermontanos, en el piedemonte del Aconquija (González Bonorino, 1950 y 1951) y en la llanura tucumana (Sayago *et al.*, 1998b). En esta última, Bonaparte & Bobovnikov (1974), (citado por Sayago *et al.*, 1998b) lo denominan Formación Tucumán, le asignan una edad holocena y un espesor de alrededor de tres metros.

Respecto a la mineralogía del loess de la llanura, Favero & González Bonorino (1966) encuentran dos asociaciones minerales: una constituida por illita, plagioclasa Na-Ca y vidrio volcánico, que identifican fundamentalmente en el primer metro de profundidad y una segunda, formada por vidrio volcánico, montmorillonita, feldespato potásico y cuarzo que identifican de uno a dos metros de profundidad. Zinck (2006) por su parte, en suelos de la Región de Burruyacu identifica en la fracción arcilla: illita, esmectita y caolinita, con interestratificados y clorita subordinados. Zappino (2012), reconoce en la fracción gruesa en suelos del pedemonte, abundante vitroclastos y cristaloclastos, frecuente cuarzo, feldespatos, fragmentos líticos y alteritas, con ferromagnesianos y muscovita subordinados, mientras que en la fracción arcillosa illita bien cristalizada y pequeñas proporciones de caolinita.

Distintos autores identificaron y describieron suelos enterrados en la llanura de la provincia. Su origen se asocia a las cíclicas fluctuaciones climáticas acaecidas durante el Holoceno donde alternaron períodos secos y cálidos con deposición de loess con otros húmedos donde prevalecieron los procesos pedogenéticos. Zuccardi & Fadda (1972) identifican Argiudoles ubicados sobre antiguas colinas del piedemonte, mencionando que difieren del subgrupo típico por un horizonte Bt, sobre el que descansa una capa u horizonte de color más claro. Años más tarde Zuccardi & Fadda (1985) los reconocen como Hapludoles thapto árgicos. Suelos clasificados en la misma taxa fueron descritos por Vargas Gil (1990) en el piedemonte y en la

Llanura Chaco Pampeana (centro-este de la Provincia en el límite de Santiago del Estero) mencionando Hapludoles que sepultan Argiudoles truncados de los que se conservan antiguos horizontes Bt (Figs. 1a y 1b). Moscatelli *et al.* (1998), reconocen en el piedemonte de la Llanura Aluvial suelos enterrados, identificando a campo discontinuidades litológicas que describen como un material más joven que descansa sobre horizontes argílicos de aspecto mucho más antiguo. Zinck (2006) identifica horizontes enterrados y suelos completos enterrados en los dos metros superficiales de la Región de Burruyacu. Los describe de colores más oscuros, con mayor contenido de materia orgánica y desarrollo estructural respecto a los horizontes A y AC de los suelos que los recubren.

Más allá de estas descripciones, en la llanura tucumana se observan perfiles de suelo en donde no es posible identificar claramente discontinuidades litológicas y/o suelos enterrados. En ellos no se perciben importantes contrastes texturales, estructurales, de consistencia o de colores que hagan presumir su existencia, aparentando suelos monogenéticos. En estos casos, estudios detallados de laboratorio, tanto texturales como mineralógicos proveen importantes indicios para su individualización (NRCS-USDA, 2014; Imbellone *et al.*, 2010; Imbellone & Camilión, 1984; Wang & Arnold, 1973).

Se presume que los suelos seleccionados de la Llanura Pedemontana y Chaco Pampeana se han desarrollado a partir de un material originario heterogéneo constituido por varios depósitos separados por discontinuidades que habrían dado origen a suelos poligenéticos.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el material originario en suelos representativos de la Llanura Pedemontana y Chaco Pampeana de Tucumán, evaluar su homogeneidad o heterogeneidad y establecer su edad en base a dataciones absolutas. Se propone una correlación de los depósitos identificados mediante la implementación de un Índice Mineralógico Normativo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### El Medio Natural

La llanura tucumana está constituida por las regiones naturales de la Llanura Pedemontana, la Llanura Chaco Pampeana y la Llanura Aluvial (Fig. 1a). La región de la Llanura Pedemontana se extiende en una estrecha franja subparalela a las sierras centrales y nororientales de la provincia. La pendiente general varía del 1 al 5%. En sectores se localizan colinas re-

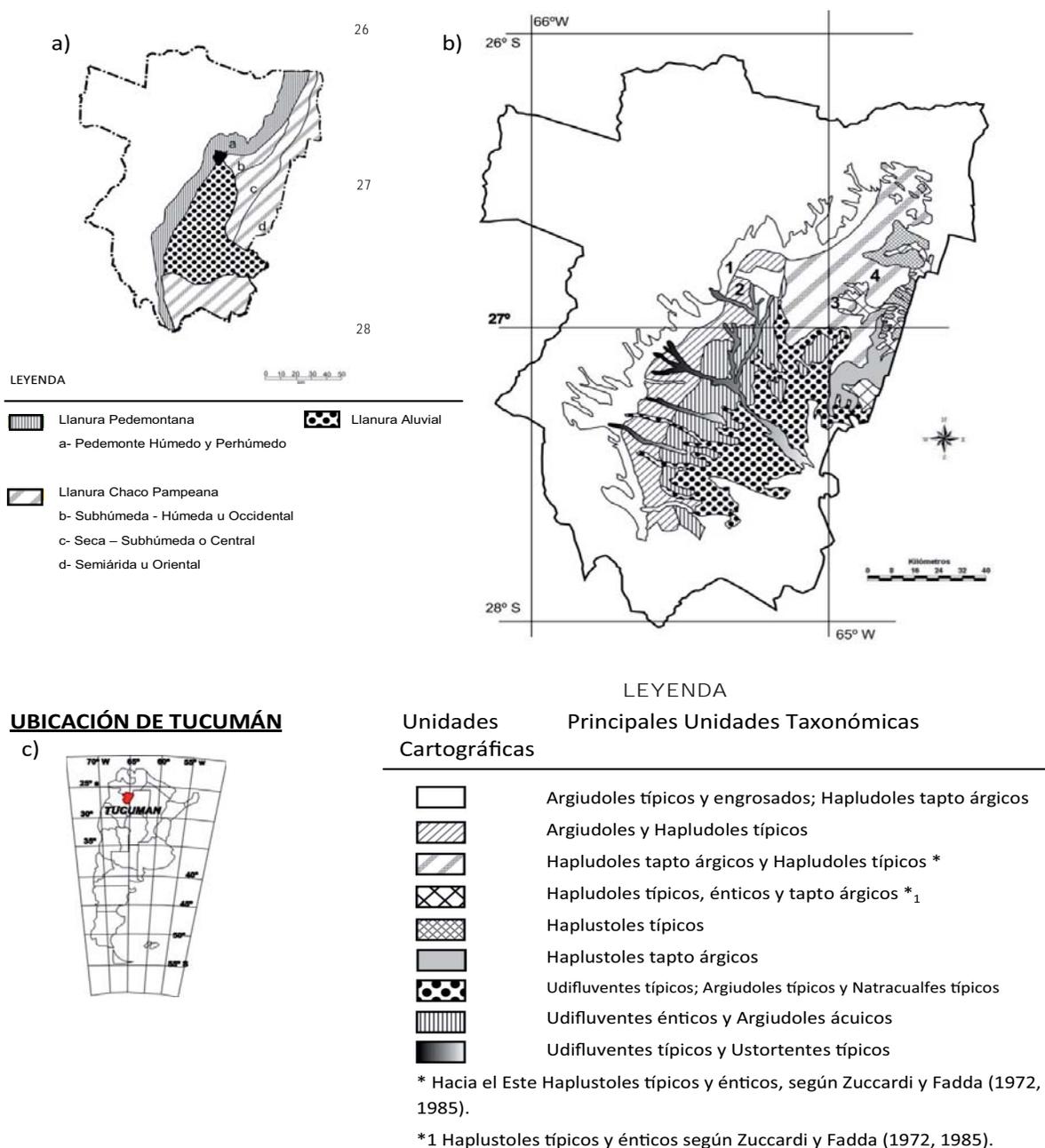


Figura 1a. Regiones Naturales de la Provincia de Tucumán (Tomado parcialmente de Zuccardi & Fadda, 1985).

Figura 1b. Distribución de suelos en las Regiones de la Llanura Pedemontana y Llanura Chaco Pampeana de la Provincia de Tucumán (Tomado parcialmente de INTA, 1990). Ubicación de los perfiles seleccionados: 1. La Rinconada; 2. El Manantial; 3. Cañete; 4. San Agustín.

Figura 1c. Mapa de ubicación de la Provincia de Tucumán.

Figure 1a. Natural Regions of Tucumán's Province (Partially taken from Zuccardi & Fadda, 1985).

Figure 1b. Distribution of soil in the Pedemountain and Chaco Pampean Plain regions of Tucumán's Province (partially Taken from INTA, 1990). Location of the selected profiles: 1. La Rinconada; 2. El Manantial; 3. Cañete; 4. San Agustín.

Figure 1c. Location Map of Tucumán's Province.

dondeadas con pendientes en sus flancos de 5 a 8%, constituidas por sedimentos limo arcillosos (Zuccardi & Fadda, 1985). El mesoclima es perhúmedo-húmedo (Torres Bruchman, 1972) y el régimen hídrico de los suelos es údico (Zuccardi & Fadda, 1972). Hacia el Este limita con la Llanura Chaco-Pampeana. Está constituida por material loésico que cubre sedimentos aluviales. Las pendientes no superan el 2% (Vargas Gil, 1990).

En el sector tucumano de la Llanura Chaco-pampeana se distinguen tres subregiones climáticas (Torres Bruchman, 1972): La Subregión Occidental, de mesoclima subhúmedo-húmedo cálido al Oeste, a seco subhúmedo-cálido al Este, con una precipitación media anual de 1000 a 750 mm. Los regímenes de humedad de los suelos son: el údico en el Oeste y centro, y ústico en el Este. La Subregión Central de mesoclima seco-subhúmedo-cálido con precipitaciones que varían de 750 mm al Oeste a 650 mm al Este. El régimen de humedad de los suelos es ústico. La Subregión Oriental presenta un mesoclima semiárido-cálido. La precipitación varía de 650 a 500 mm de Oeste a Este. El régimen de humedad de los suelos es ústico.

El Bosque Subtropical cubre la Región de la Llanura Pedemontana (Laurel y Horco Molle). El Bosque de Transición cubre la Subregión de la Llanura Subhúmeda-Seca o Central (Tipa y el Pacará) y hacia el Este, se desarrolla el Bosque Chaqueño (Tala, Quebracho y Mistol) (Zuccardi, & Fadda, 1972).

### Selección de perfiles de suelos

En el estudio se seleccionaron cuatro suelos de representatividad regional, distribuidos a lo largo de una transecta en la latitud aproximada de los 26°52'sur, entre las localidades de La Rinconada y San Agustín. La selección se realizó en base a la información del INTA (Vargas Gil, 1990) y de Zuccardi & Fadda (1972, 1985) (Fig. 1b).

La transecta presenta una extensión de 58 km y cruza las regiones del Pedemonte Húmedo-Perhúmedo (suelo La Rinconada: Argiudol típico (Ap-AB-Bt1-2Bt2b-2Bt3b-3BCb-4C)), la Llanura Chaco Pampeana Húmeda-Subhúmeda u Occidental (suelo El Manantial: Argiudol típico: (Ap BA Bt 1-Bt2-2Bt3b-3C)), Seca-Subhúmeda o Central (suelo Cañete: Haplustol típico: (Ap-BA-2Bwb-3C)) y Semiárida u Oriental (suelo San Agustín: Haplustol éntico (A-AC-C1-C2)). La descripción y muestreo se realizó según el Handbook N° 18 (Soil Survey Staff, 1993). El carbono orgánico se determinó por el método de Walkley & Black (1965), la granulometría por Kilmer & Alexander (1949), el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  mediante calcímetro de Sheibler y pH con electrodo de vidrio en suspensión de 1:2,5 en agua destilada. La clasificación de los suelos se realizó según NRCS-USDA, 2014.

### Estudio sedimentológico

Además del análisis granulométrico tradicional, se llevó a cabo un análisis granulométrico detallado mediante un sedi-

mentógrafo ANALYSET 20 con el que se obtuvo una distribución de 15 intervalos de población total: 2000-1000, 1000-710, 710-500, 500-354, 354-250, 250-177, 177-125, 125-88, 88-63, 63-44, 44-31, 31-22, 22-16, 16-8, 8-4  $\mu$ . Se determinaron los parámetros sedimentológicos (Folk & Ward, 1971): Media (MZ), Mediana (Md), Asimetría (SKI), Selección (s) y Curtosis (K). En la evaluación de la homogeneidad del material originario se implementó el Índice Langhor (1976), el índice limo fino/limo grueso y la interrelación entre parámetros estadísticos. La clasificación textural de muestras seleccionadas se realizó según Bidart (1992).

### Estudio Mineralógico

La fracción arena (88-125 m) se analizó por microscopía óptica. La fracción arcilla (<1  $\mu$ ) por difracción de rayos X, homoionizada con  $\text{Mg}^{++}$ , en preparados orientados, solventados con etilenglicol y calcinados a 550 °C; la fracción limo (2-20  $\mu$ ) mediante difracción de rayos X en preparados de polvo. La fracción arcilla y limo se analizó en los horizontes C considerados el material originario menos edafizado de los suelos.

### Mineralogía Normativa

Se obtuvo de acuerdo a la metodología propuesta por Merodio y Spalletti (1988). Se basa en el análisis químico de elementos mayoritarios en sedimentos pelíticos, a partir del cual se calcula la *norma mineralógica*.

El método se adaptó a los suelos seleccionados de la siguiente manera:

- 1 Análisis químico de suelo total ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).
- 2 Análisis químico por microsonda del vidrio volcánico.
- 3 Aplicación de la norma de Merodio & Spaletti (1988).
- 4 A la mineralogía normativa obtenida se le sustrae la fracción arcillosa y se recalcula al 100%, para considerar sólo la fracción esquelética, considerada material originario de los suelos.

Entre las diversas alternativas que ofrece el método, la que se ajusta a los suelos estudiados es la siguiente (Tomado parcialmente de Merodio & Spaletti, 1988):

- a) Todo el  $\text{P}_2\text{O}_5$  se transforma en apatita, combinándose con las proporciones molares de  $\text{CaO}$  necesarias,
- b) El  $\text{CaO}$  remanente se destina a anortita,
- c) El  $\text{K}_2\text{O}$  se destina a la formación de illita combinándose con las proporciones molares requeridas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{SiO}_2$ ,
- d) El  $\text{K}_2\text{O}$  remanente se transforma en ortoclasa,
- e) Todo el  $\text{MgO}$  remanente se destina a la formación de clorita combinándose con las proporciones molares de  $\text{AlO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$ ,

- f) Todo el  $\text{Na}_2\text{O}$  se transforma en albita,
- g) El exceso de  $\text{SiO}_2$ , se expresa como cuarzo,
- h) El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  remanente es transformado en hematita.

### Análisis químicos

**En suelo total.** Se realizó en el Laboratorio ACTLAB, (Activation Laboratories Ltd. Ancaster, Ontario, Canadá) por espectroscopía de absorción atómica.

**En vidrio volcánico.** Se analizó mediante EPMA (microsonda de electrones). Los fragmentos de vidrios fueron montados sobre un portaobjeto, pulidos a espejo y recubiertos con carbono. Se utilizó una microsonda JEOL JXA 8900 de la Universidad Complutense de Madrid operada en modo WDS (dispersivo en longitud de onda).

### Dataciones radimétricas

Se realizaron en el Departamento de Geografía de la Universidad de Beijing, por el método de termoluminiscencia. Se seleccionaron para datación los suelos La Rinconada y El Manantial. En La Rinconada se analizaron los horizontes AB (35-69 cm) (considerado en la descripción de campo la base del suelo actual) y 4C (180-220 cm) (base del suelo enterrado). En el Manantial se analizó el horizonte 3C (115-150 cm) (la base del suelo enterrado). La datación del horizonte 4C de la Rinconada resultó inconsistente por lo que no se tuvo en cuenta.

## RESULTADOS

### Características de los suelos

*Los datos morfológicos y analíticos, se presentan en la Tabla 1.*

**Suelo La Rinconada (Argiudol típico):** ubicado en el pedemonte húmedo-perhúmedo, en un paisaje colinado sobre material originario loésico con pendientes de 4%. Presenta la siguiente secuencia de horizontes Ap1-Ap2-AB-Bt1-2Bt2b-2Bt3b-3BCb-4C (las discontinuidades señaladas surgen del análisis textural de detalle, Figura 4d). En la porción inferior del perfil se identificó un sedimento loésico en el que se formó un suelo con horizonte argílico fuertemente desarrollado (arcilla: 2Bt2b: 29,6%; 2Bt3b: 38,3%). Sobre este antiguo perfil se depositó un nuevo sedimento loésico en el que evolucionó el suelo actual de tipo A-AB-Bt. El horizonte A constituye un epipedón mólico, bien provisto de materia orgánica (2,5%) y profundo (35 cm). Los horizontes superiores (Ap-AB), presentan texturas franco limosas, mientras que los Bt del suelo actual y del suelo enterrado tienen texturas moderadamente finas (franco arcillo limosas). El escurrimiento es rápido por efecto de la pendiente y la permeabilidad presenta un fuerte contraste debido a la menor conductividad hidráulica del Bt.

**Suelo El Manantial (Argiudol típico):** se localiza en el oeste de la Llanura Subhúmeda-Húmeda u Occidental. Desarrollado sobre sedimentos loésicos, en un relieve normal con pendientes del 2%. La secuencia de horizontes es Ap1-Ap2-BA-Bt1-Bt2-2Bt3b-3C (las discontinuidades señaladas surgen del análisis textural de detalle, Fig. 4h). Presenta un horizonte A mólico, moderadamente provisto de materia orgánica (2,0%), oscuro y profundo (39 cm). Los horizontes Bt responden al criterio de horizonte argílico (Ap1: 19%; Bt1: 25,5%). La textura de los horizontes superficiales es franco limosa, tornándose más fina, franco arcillo limosa, en los horizontes Bt. Presenta un escurrimiento medio, la permeabilidad moderadamente lenta y la clase de drenaje es moderada.

**Suelo Cañete (Haplustol típico):** ubicado en la Llanura Seca-Subhúmeda o Central, desarrollado sobre material originario loésico. Relieve normal y pendiente del 1,5%. La secuencia de horizontes es Ap1-Ap2-BA-2Bwb-3C (las discontinuidades señaladas surgen del análisis textural de detalle, Figura 4i). El horizonte A es moderadamente profundo y regularmente provisto de materia orgánica, constituyendo un epipedón mólico. Reposa sobre un horizonte B que corresponde a un horizonte cámbico. Es un suelo muy uniforme en sus propiedades, con textura franco limosa a través de todo el perfil, bien drenado, con escurrimiento medio y permeabilidad moderada. La reacción química es neutra en superficie y ligeramente alcalina en profundidad por la presencia de carbonato de calcio.

**Suelo San Agustín (Haplustol éntico):** ubicado en la Llanura Semiárida u Oriental. Desarrollado sobre sedimento loésico en relieve normal y pendiente del 1%. Con una secuencia de horizontes A-AC-C1-C2. De textura franco limosa en todo el perfil. El predominio de limo le confiere una débil estructura en bloques subangulares medios y una consistencia ligeramente adhesiva, ligeramente plástica y muy friable. El pH es ligeramente alcalino en los horizontes superficiales y moderadamente alcalino en C1 y C2 por la presencia de carbonato de calcio en la masa del suelo. Es un suelo bien drenado con escurrimiento medio y permeabilidad moderada a moderadamente rápida.

### Texturas y parámetros sedimentológicos

**Clasificación textural:** de acuerdo a la clasificación de sedimentos eólicos propuesta por Bidart (1992), los horizontes C, considerados el material originario menos edafizado de los suelos, se ubican dentro del campo del loess típico, con excepción del horizonte C1 de San Agustín que lo hace dentro del campo del loess arenoso (Fig. 2).

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas seleccionadas.  
Table 1. Selected physical and chemical properties.

Horiz	Prof. (cm)	Color húmedo	Estructura	Consistencia	pH H <sub>2</sub> O (1-2,5)	Mat Org (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Sat Bases (%)	Arena	Limo (%)	Arcilla	Clase Textural	Cutanes	Límite
<b>La Rinconada (Argiudol típico)</b>														
Ap1	0-21	(10YR2/2)	Bl subang, me/g, mo	friable	6,1	2,7	0,0	71,3	17,9	64,6	17,6	fr li	-	cl su
Ap2	21-35	(10YR2/2,5)	Bl ang irreg, fi, mo	friable	6,2	2,3	0,0	74,6	18,4	63,7	17,9	fr li	-	cl su
AB	35-69	(10YR3/2,5)	Bl subang, fi, mo	friable	6,6	0,8	0,0	78,2	22,4	59,0	18,6	fr li	-	cl su
Bt1	69-95	(7,5YR4/3)	Pr comp irreg, me/g, mo	friable	6,	0,6	0,0	85,9	13,4	57,6	29,0	fr ar li	ab me	cl su
2Bt2b	95-115	(7,5YR4/4)	Pr comp irreg, me/g, mo	firme	6,8	-	0,0	80,6	9,3	61,2	29,6	fr ar li	ab me	cl su
2Bt3b	115-150	(7,5YR4/6)	Bl ang irreg, me, mo	firme	6,7	-	0,0	95,3	6,0	55,8	38,3	fr ar li	ab g	cl su
3Bcb	150-180	(7,5YR4,5/6)	Bl ang irreg, me, mo	friable	7,0	-	0,0	98,9	7,1	67,4	25,4	fr li	es fi	cl su
4C	180-220	(7,5YR4/4)	-	-	7,0	-	0,0	90,6	7,7	69,3	23,0	fr li	-	-
<b>El Manantial (Argiudol típico)</b>														
Ap1	0-28	(10YR2/1)	Bl subang, me, mo	friable	6,4	2,8	0,0	72,5	16,0	65,0	19,0	fr li	-	cl su
Ap2	28-39	(10YR3/2)	Bl ang, me, mo	friable	6,6	1,3	0,0	78,3	21,1	58,6	20,3	fr li	-	cl su
BA	39-56	(7,5YR3/2)	Bl ang irreg, me, mo	friable	6,8	0,4	0,0	87,0	22,7	56,7	20,6	fr li	es fi	cl su
Bt1	56-78	(7,5YR4/3)	Pr comp irreg, me/g, mo	firme	6,8	0,2	0,0	64,5	16,7	57,8	25,5	fr li	ab g	cl su
Bt2	78-105	(7,5YR4/3,5)	Pr comp irreg, med, mod	firme	6,7	-	0,0	79,6	11,0	57,8	31,2	fr ar li	ab g	cl su
2Bt3b	105-115	(7,5YR5/4)	Bl ang irreg, med, mod	firme	6,6	-	0,0	83,0	8,4	58,8	32,8	fr ar li	es me	cl su
3C	115-220	(7,5YR3/4)	-	-	7,0	-	0,0	-	11,0	64,8	24,2	fr ar li	-	-
<b>Cafete (Haplustol típico)</b>														
Ap1	0-29	(10YR2,5/2)	Bl subang, fi, mo	friable	6,6	1,9	0,0	88,3	15,5	69,2	15,4	fr li	-	cl su
Ap2	9-39	(10YR3/2)	Bl subang, me, mo	friable	6,9	1,5	0,0	93,4	16,9	65,5	17,7	fr li	-	cl su
BA	39-68	(10YR5/4)	Bl ang irreg, me, mo	friable	7,3	0,8	0,0	94,5	17,5	69,2	13,2	fr li	-	cl su
2Bwb	68-110	(7,5YR4/4)	Bl subang, me, mo	firme	7,6	0,3	0,3	98,5	14,5	74,4	11,2	fr li	-	cl su
3C	110-150	(7,5YR5/4)	masivo	firme	8,3	-	2,6	-	18,2	72,9	8,8	fr li	-	-
<b>San Agustín (Haplustol éntico)</b>														
A	0-47	(10YR3/1)	Bl subang, me, dé	friable	7,8	2,3	0,0	100	21,6	65,5	12,9	fr li	-	cl su
AC	47-85	(7,5YR4/2)	Bl subang, me, dé	friable	7,8	1,2	0,0	99,6	22,1	68,2	9,6	fr li	-	cl su
C1	85-100	(7,5YR4,5/4)	masiva	muy friable	8,0	-	0,4	100	27,9	66,3	5,9	fr li	-	cl su
C2	100-128	(7,5YR4,5/4)	masiva	muy friable	8,3	-	3,3	100	23,3	68,7	8,0	fr li	-	cl su

Referencias: Mat Org : materia orgánica; ang: angular; subang: subangular; fi: fino; me: medio; gr: grueso; mo: moderado; dé: débil; ab: abundante; es: escaso; lig: ligeramente; adh: adhesivo; pl: plástico; fr: franco; li: limoso; ar: arcilloso; cl: claro; su: suave; gra: gradual.

References: Mat org: organic matter; ang: angular; subang: subangular; fi: fine; me: medium; gr: coarse; mo: moderate; dé: weak; ab: abundance; lig: slightly; adh: adhesive; pl: plastic; fr: loam; li: silty; ar: clayey; cl: clear; su: soft; gra: gradual.

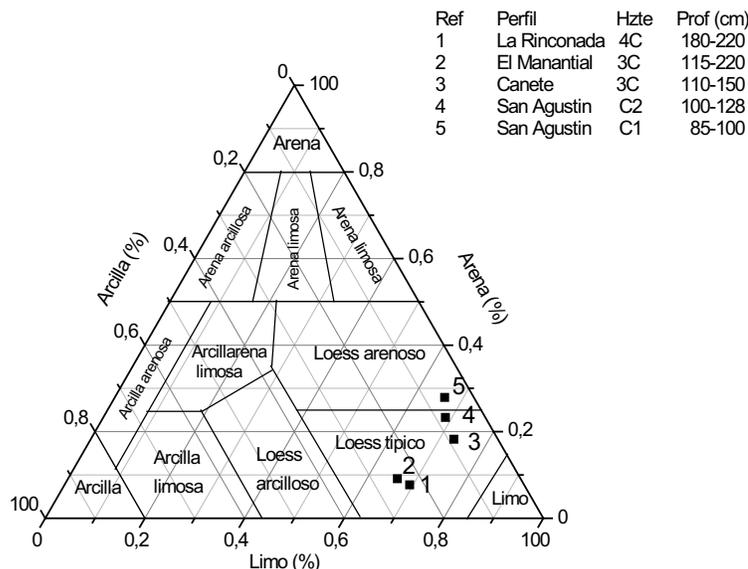


Figura 2. Clasificación textural según Bidart (1992) de horizontes C de los suelos estudiados.

Figure 2. Textural classification according Bidart (1992) of C horizons in studied soils.

La descripción granulométrica detallada se limita a las fracciones menos móviles de los suelos, que representan la posible composición granulométrica original de los sedimentos (Tabla 2).

En los suelos La Rinconada y El Manantial, los horizontes superficiales (Ap1-Ap2-AB y Ap1-Ap2-BA, respectivamente) muestran distribución bimodal, con una moda principal entre los 4 y 5 (limo grueso – arena muy fina), dominada alternativamente por los intervalos 63-44  $\mu$  y 44-31  $\mu$ . Una moda secundaria, bien marcada, se encuentra en las fracciones finas entre los 6 y 8 (limo fino) (16 y 4  $\mu$ ). Son materiales mal seleccionados ( $\sigma$ ), con un promedio de tamaño de grano (Mz) de limo grueso que varía en general entre 62 y 33  $\mu$ . La granulometría en estos horizontes es grano decreciente hacia la superficie.

En los horizontes subsuperficiales de la Rinconada (Bt1-2Bt2b-2Bt3b-3BCb-4C) los materiales son polimodales: la moda principal oscila entre distintas fracciones de limo: 4,5-5,5; 6-7 y 7-8 (44-22; 16-8 y 8-4  $\mu$ ). El tamaño promedio de grano (Mz) es de limo grueso para estos horizontes (48-35  $\mu$ ). La asimetría (SKI) muestra materiales con distribución simétrica, con excepción de 2Bt2b donde presenta asimetría negativa con cola de distribución hacia fracciones más gruesas que la media. La curtosis (K) es

Tabla 2. Parámetros sedimentológicos.

Table 2. Sedimentological parameters.

Horiz.	Media (Mz)	Des Standard ( $\sigma$ )	Asimetría (SKI)	Curtosis (K)
La Rinconada (Argiudol típico)				
Ap1	4,79	1,39	0,06	0,78
Ap2	4,42	1,22	0,11	1,12
AB	4,03	1,62	0,09	1,22
Bt1	3,95	1,46	0,10	1,20
2Bt2b	4,66	1,37	-0,19	1,14
2Bt3b	4,28	1,59	0,06	0,79
3BCb	4,26	1,68	-0,08	0,86
4C	4,74	1,14	-0,07	1,16
El Manantial (Argiudol típico)				
Ap1	4,91	1,33	-0,15	0,90
Ap2	4,15	1,55	0,14	1,05
BA	4,36	1,27	0,01	1,06
Bt1	4,76	1,52	0,01	0,95
Bt2	4,00	1,24	0,11	0,77
2Bt3b	3,62	1,19	-0,15	0,96
3C	4,36	1,20	0,07	0,97
Cañete (Haplustol típico)				
Ap1	4,65	1,20	-0,14	1,34
Ap2	4,28	1,19	0,09	0,89
BA	4,03	1,51	-0,08	0,73
2Bwb	3,90	1,17	-0,21	1,27
3C	4,33	1,07	0,11	0,74
San Agustín (Haplustol éntico)				
A	4,45	1,33	-0,12	1,79
AC	4,50	1,47	-0,05	1,27
C1	4,30	1,57	-0,12	1,25
C2	3,91	1,73	-0,18	1,27

cambiante de un horizonte a otro con distribuciones leptoplaticúrticas.

En el suelo El Manantial los horizontes subsuperficiales (Bt1-Bt2-2Bt3b-3C) presentan distribución bimodal con una moda principal entre 4,5 y 5 ( $44-31\mu$ ), correspondiente a limo grueso, y una secundaria entre 3,5 y 4 ( $125-88\mu$ ) de arena muy fina. Son materiales mal seleccionados ( $\sigma$ ) con un tamaño medio de grano (Mz) de limo grueso (4-5) ( $62-37\mu$ ), con excepción de 2Bt3b donde es de arena fina ( $81\mu$ ). La distribución (SKI) es en general simétrica y suavemente negativa en los horizontes 2Bt3b y Ap1, con colas de distribución hacia fracciones más gruesas que la media. En general, la curtosis indica distribución levemente mesocúrtica.

El suelo Cañete muestra las mayores variaciones granulométricas. Presenta materiales bimodales en Ap2, BA y 3C, con una moda principal entre 4,5 y 5, ( $44-31\mu$ ) correspondiente a limo grueso y una moda secundaria en las fracciones finas 7-8 ( $8-4\mu$ ). El tamaño promedio de grano (Mz) es de limo grueso en todo el perfil ( $61-44\mu$ ), con la excepción de 2Bwb que es de arena muy fina ( $67\mu$ ). Desde este horizonte, la textura es granodecreciente hacia el techo del perfil. La distribución (SKI) es simétrica y suavemente platicúrtica (K) en la base y en los horizontes Ap2 y BA, y asimétrica negativa y leptocúrtica en 2Bwb y Ap1.

El suelo San Agustín presenta homogeneidad granulométrica. Muestra materiales polimodales con una moda principal entre 4,5 y 5 bien marcada, correspondiente a limo grueso ( $44-31\mu$ ). Presenta dos modas secundarias: una en las fracciones finas entre 6 y 7 ( $16-8\mu$ ), y otra en las fracciones gruesas, entre 1 y 1,5 ( $500-354\mu$ ), correspondiente a la arena mediana. La asimetría (SKI) es suavemente negativa en la base del perfil y simétrica en los demás horizontes. La curtosis (K) indica materiales leptocúrticos y un tamaño de grano medio (Mz) de 51- $46\mu$  correspondiente a limo grueso, con excepción de C2 donde es de  $66\mu$  perteneciente a arena muy fina. La distribución es grano decreciente desde la base hacia el techo del perfil.

### Mineralogía

La composición mineral de las distintas fracciones es similar en todas las muestras, aunque con variaciones cuantitativas marcadas entre distintos niveles como puede observarse en la Figura 6a.

En la fracción arena modal ( $125-88\mu$ ) el material volcánico, constituido por vitroclastos y cristaloclastos, es el componente más abundante, seguido por feldespatos y cuarzo. En orden de importancia se encuentran luego, al-

teritas, fragmentos líticos, minerales ferromagnesianos y muscovita (Tabla 3).

Entre los constituyentes de origen volcánico, el vidrio es mayoritario en todas las muestras. Su porcentaje varía entre 12 y 77%, con un promedio de 42%. Aumenta hacia los horizontes superficiales de todos los perfiles. La variedad encontrada es siempre incolora, revelando su carácter ácido. Se presenta en trizas y pumicitas (Teruggi *et al.*, 1978), su alteración se observa frecuentemente según canalículos u oquedades y en general aumenta hacia la base de los suelos. Acompañan los cristaloclastos en una proporción variable (16 y 4%) constituidos principalmente por cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. El cuarzo (10% y valores extremos entre 22 y 3%), se encuentra en individuos frecuentemente subangulosos a subredondeados y en otros, menos frecuentes, con morfología muy angulosa. La plagioclasa (14%, con extremos entre 34 y 2%) es de composición albita-oligoclasa, se presenta también en estructura zonada (típica de origen volcánico). El feldespato potásico es muy escaso (1,4% con valores extremos de 0,5 y 3,6%), la variedad más común es la ortoclasa, frecuentemente subredondeada y escasa alteración superficial. La sanidina se observa en todas las muestras con proporciones del 1 al 2%, inalterada y en ocasiones con pequeñas inclusiones. La hornblenda es el más común entre los minerales ferromagnesianos, la variedad basáltica o lamprobolita es la más frecuente. Entre estos últimos se encuentran biotita y augita muy escasos. Circón, apatita y rutilo se presentan esporádicamente, en cristales diminutos, más comúnmente como inclusiones en minerales de cuarzo. Los fragmentos líticos resultaron de difícil determinación óptica debido a la pequeñez de los individuos y frecuente alteración. A grandes aumentos, en algunas muestras, es posible distinguir minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico, inmersos en una pasta felsítica muy alterada. Su frecuencia es muy variable, entre un 2 a un 22%.

En la fracción limo fino ( $20-2\mu$ ) analizada mediante difracción de RX prevalece el cuarzo, seguido por illita y plagioclasa (Fig. 3a). La fracción arcilla ( $<1\mu$ ) está compuesta fundamentalmente por illita y como mineral subordinado caolinita. Se observan pequeñas proporciones de minerales interestratificados (Fig. 4e, f, g, h).

### Discontinuidades

La implementación de distintos métodos permitió la identificación de unidades deposicionales separadas por discontinuidades (Imbellone & Camilión, 1984; Wang & Arnold, 1973) (Fig. 4).

Tabla 3. Mineralogía de la fracción arena modal (88-125  $\mu$ ). Suelos de la Llanura Chaco Pampeana. Referencias: Vi: vidrio volcánico; Cris: cristaloclastos; Cz: cuarzo; Pl: plagioclasa; FK: feldespato potásico; Mu: muscovita; Sa: sanidina; Bi: biotita; Ho: hornblenda; Alt: alteritas; Fr Lit: fragmentos líticos; Op: opacos; Ci: circón; Tu: turmalina; La: lamprobolita; Il: ilmenita; ap: apatita; Ru: rutilo; Tr: trazas.

Table 3. Modal sand fraction mineralogy (88-125  $\mu$ ). Chaco-Pampean plain soils. References: Vi: volcanic glass; Cris: crystaloclasts; Cz: quartz; pl: plagioclase; FK: potasic feldspar; Mu: Muscovite; Sa: sanidine; Bi: biotite; Ho: hornblende; Alt: weathered particle; Fr Lit: lithic fragments; Op: opaque; Cl: zircon; Tu: tourmaline; La: lamprobolite; IL: ilmenite; ap: apatite; Ru: rutile; Tr: trace.

Hzte	Vi	Cris	Cz	Pl	FK	Mu	Sa	Bi	Ho	Alt	Fr Lit	Op	Otros	Cz/(Feld+Vi)100
<b>La Rinconada</b> (Argiudol típico)														
<b>Ap1</b>	52,7	15,8	8,6	4,5	-	2,5	3,1	2,5	3,0	4,5	2,0	1,0	Ci-Tu-ap	<b>15,0</b>
<b>Ap2</b>	43,2	15,9	9,7	10,2	1,6	0,6	2,7	-	4,3	8,6	3,2	Tr	Tu-Ci-Ru-Il-	<b>17,6</b>
<b>AB</b>	66,9	6,4	7,1	6,7	-	0,5	2,4	0,5	-	6,2	4,3	Tr	La	<b>9,6</b>
<b>Bt1</b>	31,4	4,2	6,0	34,7	-	0,6	-	2,3	2,8	7,4	10,6	Tr	«	<b>9,1</b>
<b>2Bt2b</b>	17,5	5,0	22,3	17,5	1,1	0,6	3,7	-	6,0	14,0	9,6	2,7	«	61,8
<b>2Bt3b</b>	12,3	3,3	14,6	32,3	1,9	1,9	2,4	3,8	2,4	8,5	15,6	1,0	«	31,4
<b>3BCb</b>	23,3	8,6	8,0	16,8	-	1,9	2,1	1,4	1,8	20,3	11,3	4,5	«	20,0
<b>4C</b>	32,8	10,9	11,4	16,8	Tr	0,5	1,1	1,1	0,5	10,8	11,9	2,2	«	23,0
<b>El Manantial</b> (Argiudol típico)														
<b>Ap1</b>	51,2	4,5	9,4	8,3	1,1	1,1	2,5	-	2,5	11,0	8,3	1,1	Ci- ap-La	<b>15,5</b>
<b>Ap2</b>	50,0	5,0	7,0	14,0	2,3	-	4,1	0,6	4,1	9,4	3,5	Tr	«	<b>10,6</b>
<b>BA</b>	43,6	10,5	5,3	15,5	2,0	1,3	5,3	-	0,7	11,2	4,6	Tr	«	<b>8,7</b>
<b>Bt1</b>	54,6	9,4	6,4	12,8	0,5	0,3	4,3	-	2,1	2,1	5,4	2,1	«	<b>9,4</b>
<b>Bt2</b>	18,4	5,0	19,8	28,0	1,8	0,6	4,1	1,1	2,3	8,8	8,1	2,0	«	41,1
<b>2Bt3b</b>	44,7	10,8	7,7	11,8	3,6	1,2	1,8	1,8	1,2	6,5	5,9	3,0	«	12,8
<b>3C</b>	50,6	4,9	22,0	4,2	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	5,3	8,4	1,6	«	39,8
<b>Cañete</b> (Haplustol típico)														
<b>Ap1</b>	76,9	3,3	3,3	2,2	0,6	-	2,2	tr	2,2	3,9	3,9	1,7	ap- Ci-La	<b>4,1</b>
<b>Ap2</b>	60,1	6,2	9,6	4,1	2,1	0,7	1,4	0,7	0,7	11,0	3,4	-	«	<b>14,5</b>
<b>BA</b>	66,3	4,8	6,0	6,6	3,6	-	1,2	-	0,0	4,2	6,6	0,7	«	<b>7,8</b>
<b>2Bwb</b>	43,6	10,1	10,7	12,8	0,7	1,3	1,4	-	2,0	8,7	7,4	1,3	«	18,7
<b>3C</b>	18,5	12,9	13,6	27,7	1,2	0,6	0,6	-	1,9	9,3	10,5	3,2	«	28,7
<b>San Agustín</b> (Haplustol éntico)														
<b>A</b>	49,6	9,6	13,3	8,9	2,2	-	-	-	1,5	6,7	8,2	-	Ci-La	<b>21,9</b>
<b>AC</b>	53,5	14,5	2,9	6,4	2,3	-	-	-	1,2	9,9	9,3	-	Ci-La	<b>4,7</b>
<b>C1</b>	21,9	5,9	13,6	16,0	3,0	1,8	0,6	-	2,4	11,2	22,4	1,2	«	<b>33,3</b>

En La Rinconada, el índice limo fino/limo grueso marca dos tramos claramente definidos (Fig. 4a). El primero desde la base del perfil hasta aproximadamente el metro de profundidad, incluyendo los horizontes subsuperficiales, y el segundo, desde esa profundidad hasta el techo del mismo. La interrelación entre los parámetros sedimentológicos asimetría (SKI) y curtosis (K), muestra un agrupamiento de los horizontes Ap2, AB, Bt1 sugiriendo su evolución a partir de un mismo material originario; el horizonte Ap1 y subsuperficiales por su parte, se mantienen alejados de dicho agrupamiento indicando una menor identidad granulométrica respecto a aquellos.

Los horizontes subsuperficiales particularmente, muestran una dispersión como consecuencia de su distinta asimetría (SKI) y curtosis (K), lo que indicaría diferencias texturales entre sí (2Bt2b-2Bt3b; 3BCb; 4C) (Fig. 4b). El dendrograma de similitud, construido a partir del índice Langhor concuerda con este análisis. Presenta dos ramas bien definidas (Fig. 4c). Una que agrupa los horizontes superficiales con una similitud del orden del 85%, y una segunda que reúne los horizontes subsuperficiales, con aproximadamente un 75% de similitud. Los horizontes 3BCb y 4C se incorporan al dendrograma sin seguir la sucesión normal en el perfil, por lo que se interpretan como un cam-

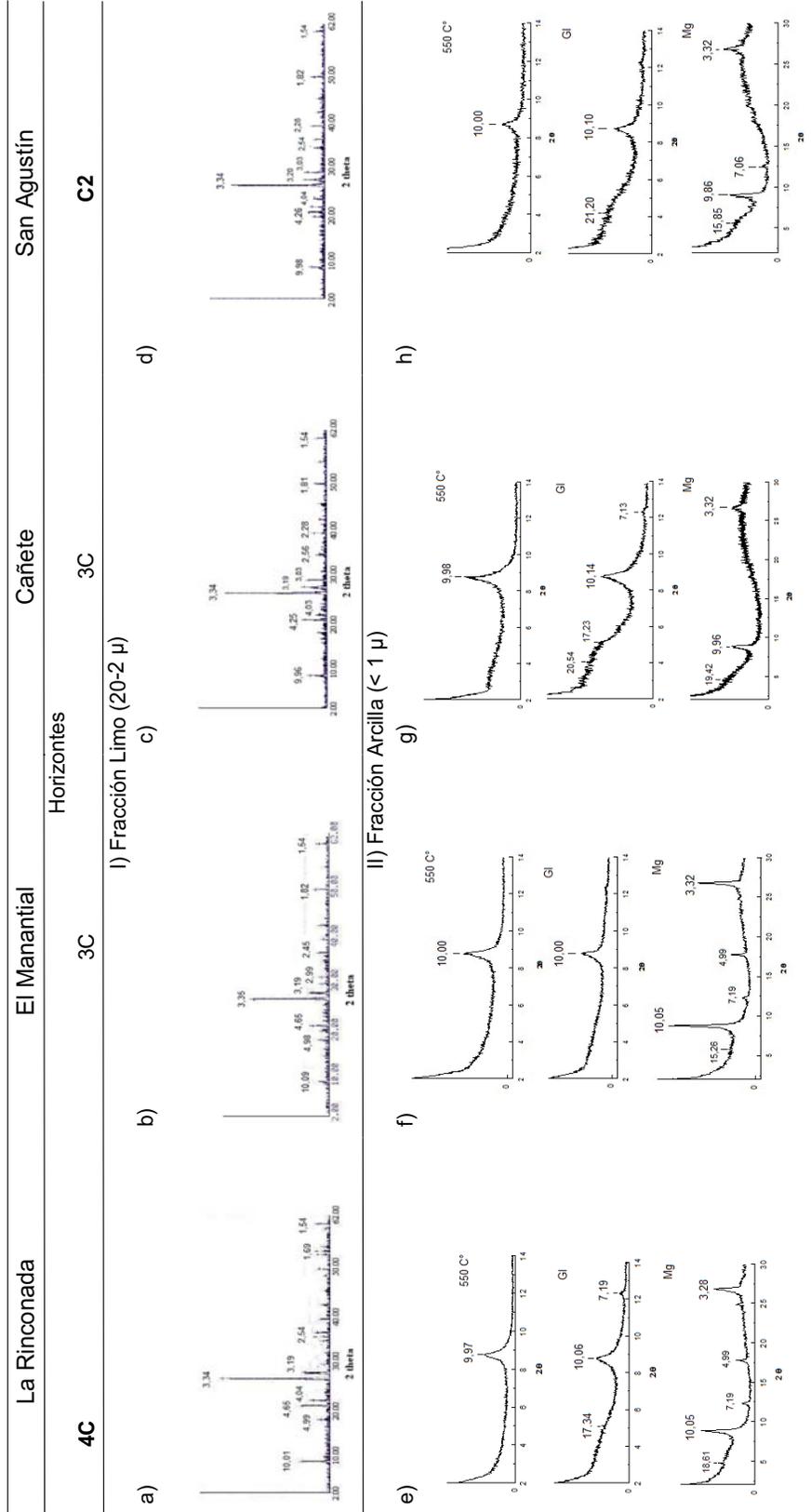


Figura 3. Difractometría de rayos X. I) Fracción limo fino (20-2μ), diagrama de polvo. II) Fracción arcilla (< 1 μ). Mg- arcilla orientada solvatada con magnesio, Gi- arcilla orientada glicolada. 550 C°: arcilla orientada calcinada. Horizontes: 4C, La Rinconada; 3C, El Manantial; 3C, Cafete; C2, San Agustín.

Figure 3. X ray diffractometry. I) Fine silt fraction (20-2μ) powder diagram. II) Clay fraction (< 1μ). Mg- oriented clay solvated with magnesium, Gi- oriented glicolated clay. 550 C° oriented calcined clay. Horizontes: 4C, La Rinconada; 3C, El Manantial; 3C, Cafete; C2, San Agustín.

bio de materiales. Los distintos métodos sugieren, por lo tanto, la presencia de cuatro unidades deposicionales separadas por discontinuidades (Fig. 4d). Desde la base del perfil, la unidad IV y III corresponden a los horizontes 4C y 3BC, respectivamente; 2Bt3b y 2Bt2b a la unidad II, mientras que los horizontes superficiales Ap1, Ap2, AB, Bt1, a la unidad I.

En El Manantial, el índice limo fino/limo grueso marca cuatro discontinuidades: una en la base (3C-2Bt3b), dos en la porción media (Bt2-Bt1 y Bt1-BA) y una en la porción superior del perfil (Ap2-Ap1) (Fig. 4e y h). La interrelación entre parámetros sedimentológicos (Fig. 4f), media (Mz) y asimetría (SKI) muestra un agrupamiento de los horizontes Ap2, BA, Bt1 y Bt2, sugiriendo cambio de materiales en la base del perfil (3C-2Bt3b) y en el horizonte superficial (Ap1). El dendrograma de similitud (Fig. 4g), muestra una rama superior que forma un agrupamiento de los horizontes Ap1 BA Bt1 Bt2 y 3C y una inferior que agrupa a Ap2 y 2Bt3b. Esta disposición marca la mayor identidad textural entre los horizontes BA-Bt1-Bt2 con una similitud del orden del 85% en la rama superior. Mientras que los horizontes Ap1, Ap2, 2Bt3b y 4C al no incorporarse al dendrograma según su sucesión normal en el perfil indicarían cambio de materiales. Este análisis permite inferir tres unidades separadas por discontinuidades (Fig. 4h): la unidad III que incluye el horizonte 3C, la unidad II al horizonte 2Bt3b, y la unidad I a los horizontes Ap, BA, Bt1 y Bt2. La diferencia de materiales registrada en Ap1 no se considera debido a que es un suelo en cultivo y por lo que puede presentar mezcla de materiales. Por lo tanto, se describe la secuencia interpretativa sólo como Ap sin efectuar la subdivisión (Fig. 4h).

El Perfil Cañete presenta tres unidades deposicionales separadas por discontinuidades. El índice limo fino/limo grueso (Fig. 4i), muestra tres intervalos bien definidos que indican cambio de materiales en la base (3C-2Bwb), porción media (2Bwb-BA) y superior del perfil (Ap2-Ap1). Esta característica se advierte en la interrelación entre los parámetros Mz-K (Fig. 4j) que agrupa los horizontes Ap2, BA y 3C, segregando los horizontes Ap1 y 2Bwb. El dendrograma de similitud, exhibe un agrupamiento de los horizontes de la porción media del perfil (Ap2-BA-2Bwb) con una similitud (Fig. 4k), del 86%, al que se adosa Ap1 con un índice del 79%. Finalmente se une al resto 3C, marcando el cambio de materiales más acentuado del perfil con un 69%. Se deducen por lo tanto, tres unidades deposicionales (Fig. 4L): III, que incluye al horizonte 3C; II que incluye

2Bwb, y la unidad I donde se desarrollan los horizontes superficiales Ap1, Ap2 y BA. La diferencia de materiales de Ap1 no se tiene en cuenta por tratarse de un suelo en cultivo que puede presentar mezcla de materiales. La secuencia interpretativa de horizontes se describe por lo tanto sólo como Ap sin efectuar la subdivisión.

San Agustín, constituye el suelo más homogéneo de la transecta. El dendrograma construido a partir del índice Langhor indica una similitud textural del 83% para los horizontes C2, C1 y AC (Fig. 4q). El horizonte A muestra diferencia de materiales poco marcadas que se refleja principalmente en el índice limo fino/limo grueso (Fig. 4o) aunque no se manifiesta claramente en los parámetros Mz- $\sigma$  (Fig. 4p) ni en el dendrograma donde el horizonte A cierra el agrupamiento con un 76% de similitud (Fig. 4q). San Agustín se interpreta por lo tanto desarrollado en una sola unidad deposicional.

### Mineralogía Normativa

El análisis textural de detalle y los métodos aplicados, indican que la composición granulométrica del material originario de los suelos seleccionados, está constituido por distintos depósitos separados por discontinuidades. Sin embargo, cuando se pretende implementar estos métodos para correlacionar los depósitos entre perfiles resultan inconsistentes.

El análisis mineralógico de la fracción arena modal indica similitud composicional en los suelos estudiados pero con un significativo aumento de material piroclástico en los horizontes superficiales que sugiere una discontinuidad mineralógica (Fig. 6a). No obstante su evaluación es compleja debido a la alta proporción de alteritas, y de cristaloclastos y litoclastos de difícil identificación óptica. A efectos de salvar esta dificultad se obtuvo la mineralogía normativa, a partir del análisis químico en suelo total. Se implementó a partir de ella un Índice Mineralógico Normativo (IM) con el fin de correlacionar de manera objetiva los depósitos en base a su contenido de material piroclástico. Un ejemplo de los resultados obtenidos de análisis químico en suelo total se presenta en la Tabla 4.

La mineralogía normativa representa una composición *virtual* (alcanzable, factible), esto quiere decir que los resultados obtenidos *expresan* la mineralogía a partir de un elemento que es excluyente de cada especie mineral (Lelong & Souchier, 1984: 7-15; Merodio & Spalletti, 1988). Por ejemplo: el calcio es excluyente de la plagioclasa (anortita), el potasio de la ortoclasa, el hierro y magnesio

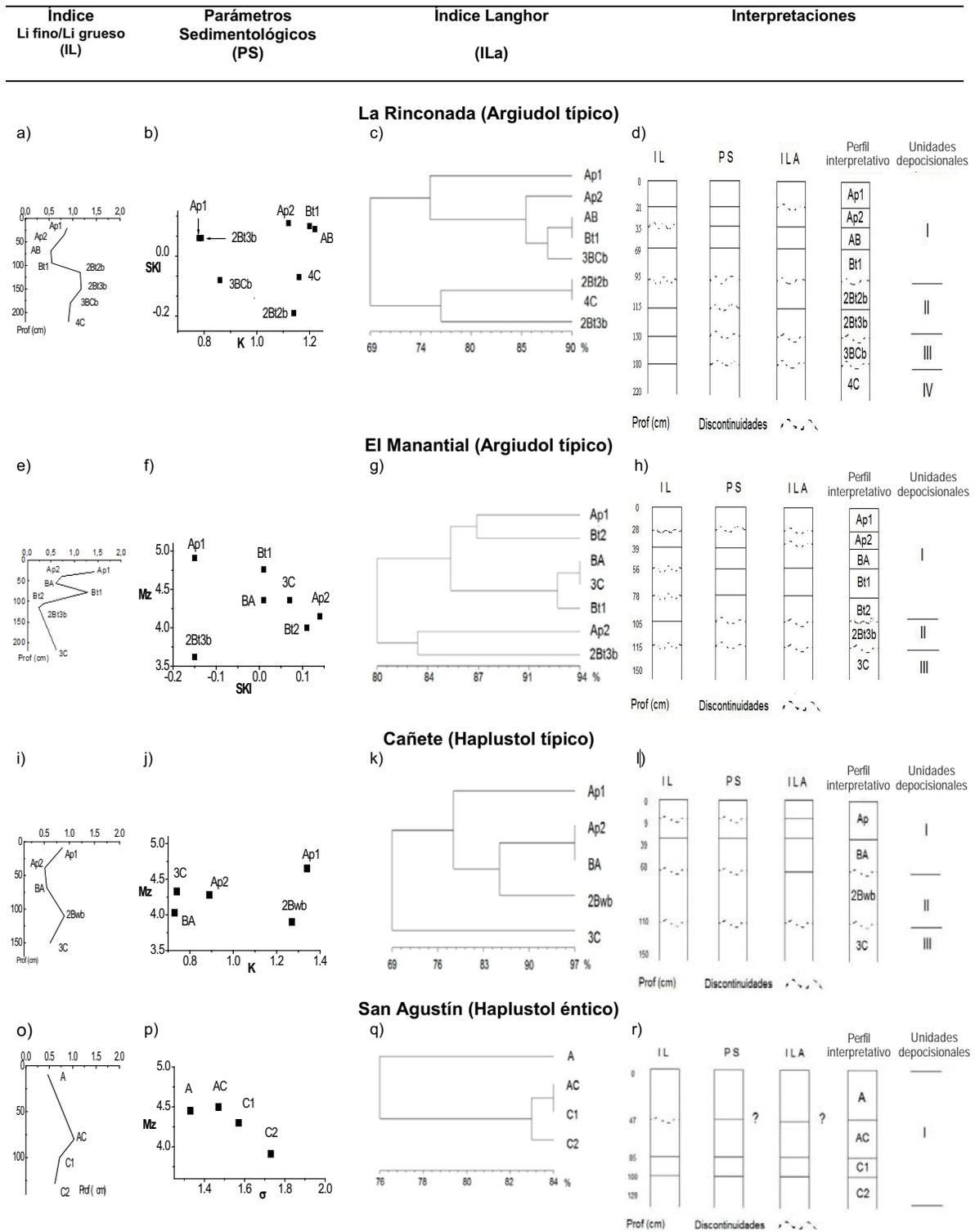


Figura 4. Discontinuidades deducidas a partir del índice limo fino/limo grueso, parámetros sedimentológicos y dendrograma de similitud. Perfil de suelo y unidades deposicionales interpretadas.

Figure 4. Discontinuities deduced from fine silt/coarse silt index, sedimentological parameters and similarity dendrogram. Soils profiles and depositional units interpreted.

de los minerales ferromagnesianos, el fósforo a la apatita. La sílice residual al final de la reconstrucción mineral se asigna al cuarzo. El vidrio volcánico al no ser un mineral, no se expresa en la mineralogía normativa como tal, sino a partir del contenido de potasio que se expresa en la ortoclasa (una vez conocida su composición feldespática (Na y K) revelada por el análisis de microsonda).

### Análisis químico del vidrio volcánico

El análisis por microsonda de seis muestras de vidrio volcánico (Tabla 5), indica que prevalecen los cationes alcalinos: el  $K_2O$  varía entre un máximo de 4,44% y un mínimo de 3,31%, con un promedio de 3,85%; el  $Na_2O$  entre un máximo de 3,88% y un mínimo de 2,95% con un promedio de 3,72%. La  $SiO_2$  varía entre 75,75 y 74,93% y su promedio es de 78,20%, una vez aplicado el factor de conversión. Según la clasificación de Streckisen (1976) es un vidrio de composición *riolítico* sensu stricto.

## DISCUSIÓN

### Correlación Mineralógica y Suelos enterrados

El análisis modal de las muestras indica que el feldespato potásico es muy escaso, por lo tanto, el potasio detectado en el análisis por microsonda en el vidrio volcánico, es el que

forma la ortoclasa en el cálculo normativo (el potasio destinado a la illita es excluido, al considerarse sólo la fracción esquelética, considerada representativa del material originario de los suelos). Luego, el contenido de ortoclasa normativa expresa el contenido de vidrio volcánico. El tenor de sodio del vidrio volcánico y el que procede de la oligoclasa y sanidina identificadas en el análisis modal, forman albita normativa.

El contenido de calcio del vidrio volcánico es despreciable, por consiguiente, la anortita normativa se forma principalmente a partir del calcio contenido en la plagioclasa (oligoclasa) y minerales ferromagnesianos identificados en el análisis modal (Tablas 3, 5 y 6).

De acuerdo a este análisis es razonable admitir entonces que la relación Ortoclasa/Anortita indica el contenido de material piroclástico respecto al contenido de material total de sedimento (Índice Mineralógico Normativo,  $IM = Or/An$ ).

El IM obtenido en cada horizonte (Tabla 6) muestra un agrupamiento del material originario en dos grupos definidos. Un grupo reúne los horizontes superficiales de los perfiles La Rinconada, El Manantial y Cañete, y la totalidad del perfil San Agustín, con un IM entre 2,41 y 1,42. El segundo grupo comprende los horizontes subsuperficiales de los tres primeros, en donde el IM presenta valores inferiores, que varían entre 0,36 y 1,31.

Tabla 4. Análisis químico en suelo total. Suelo Cañete.

Table 4. Total soil chemical analysis. Cañete soil.

	Elementos químicos expresados en óxidos											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	TOTAL
Ap 1	66,25	13,91	3,46	0,087	1,17	1,62	2,40	2,98	0,532	0,11	7,97	100,50
Ap 2	66,83	14,01	3,29	0,089	1,09	1,50	2,42	3,05	0,507	0,10	7,39	100,27
BA	68,19	13,76	3,06	0,087	1,03	1,39	2,52	3,42	0,466	0,10	6,40	100,43
2Bwb	66,19	14,22	4,05	0,093	1,41	1,68	2,27	2,89	0,629	0,11	6,80	100,34
3C	63,99	13,97	4,65	0,083	1,57	2,95	2,16	2,69	0,683	0,14	7,54	100,42

Tabla 5. Análisis químico por microsonda de seis muestras de vidrio volcánico.

Table 5. Microprobe chemical analysis of six volcanic glass samples.

N° Análisis	1	2	3	4	5	6	Promedio		Factor de conversión	Tenor final
Na <sub>2</sub> O	3,88	3,66	3,69	3,78	3,59	2,95	3,59	3,59	1.036882	3,72
MnO	0,08	0,05	0,04	0,09	0,12	0,05	0,07	excluido		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,06	0,02	0,02		0,02
MgO	0,04	0,05	0,05	0,39	0,06	0,07	0,11	0,11		0,11
FeO	0,49	0,49	0,39	0,48	0,48	0,76	0,51	0,51		0,53
K <sub>2</sub> O	3,31	3,55	3,28	4,07	3,62	4,44	3,71	3,71		3,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,46	12,54	12,33	12,91	12,56	12,37	12,53	12,53		12,99
CaO	0,50	0,55	0,53	0,47	0,54	0,70	0,55	0,55		0,57
SiO <sub>2</sub>	74,93	75,49	75,44	75,75	75,35	75,57	75,42	75,42		78,20
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,08	0,02	0,07	0,06	0,11	0,06	excluido		
Suma								96,44		99,99

Tabla 6. Mineralogía Normativa fracción esquelética e Índice Mineralógico Normativo. Cz: cuarzo; An: anortita; Ab: albita; Or: ortoclasa; Frm: mins. ferromagnesianos; ap: apatita; IM: índice mineralógico normativo.

Table 6. Mineralogical Normative skeletal fraction and Normative Mineralogical Index. Cz: quartz; An: Anorthite; Ab: albite; Or: orthoclase; Frm: ferromagnesian minerals; ap: apatite; IM: normative mineralogical index.

Horizonte	Profundidad (cm)	Mineralogía Normativa						Índice Mineralógico
		Cz	An	Ab	Or	Frn	ap	IM = Or/An
<b>La Rinconada</b> (Argiudol típico)								
<b>Ap1</b>	0-21	42,16	8,11	26,27	15,47	7,58	0,41	<b>1,91</b>
<b>Ap2</b>	21-35	41,78	7,97	27,48	15,42	6,96	0,39	<b>1,93</b>
<b>AB</b>	35-69	46,05	7,28	27,31	14,46	4,59	0,31	<b>1,99</b>
<b>Bt1</b>	69-95	47,42	12,10	26,43	4,40	9,61	0,03	0,36
<b>2Bt2b</b>	95-115	47,92	9,52	26,28	6,09	9,83	0,37	0,64
<b>2Bt3b</b>	115-150	47,58	10,50	25,19	3,89	12,39	0,44	0,37
<b>3BC</b>	150-180	44,74	10,30	24,20	8,69	11,61	0,46	0,84
<b>4C</b>	180-220	44,87	10,30	23,94	10,01	10,38	0,49	0,97
<b>El Manantial</b> (Argiudol típico)								
<b>Ap1</b>	0-28	38,37	8,88	25,53	17,17	9,51	0,54	<b>1,93</b>
<b>Ap2</b>	28-39	40,99	7,97	25,92	17,39	7,46	0,28	<b>2,18</b>
<b>BA</b>	39-56	43,06	7,37	26,45	16,49	6,41	0,22	<b>2,24</b>
<b>Bt1</b>	56-78	42,94	8,35	25,68	14,38	8,36	0,28	<b>1,72</b>
<b>Bt2</b>	78-105	46,47	10,51	25,63	5,23	11,81	0,36	0,50
<b>2Bt3b</b>	105-115	43,78	8,78	25,28	9,52	12,27	0,37	1,08
<b>3C</b>	115-150	42,45	9,41	24,79	12,31	10,61	0,43	1,31
<b>Cañete</b> (Haplustol típico)								
<b>Ap1</b>	0-9	43,20	9,62	25,98	13,69	7,17	0,34	<b>1,42</b>
<b>AP2</b>	9-39	44,13	9,09	26,51	13,53	6,42	0,31	<b>1,49</b>
<b>BA</b>	39-68	42,20	7,90	26,28	17,32	6,01	0,30	<b>2,19</b>
<b>2Bwb</b>	68-110	43,89	10,14	24,78	12,03	8,81	0,35	1,19
<b>3C</b>	110-150	36,83	16,02	21,01	15,01	10,76	0,38	0,94
<b>San Agustín</b> (Haplustol éntico)								
<b>A</b>	0-47	43,71	9,96	22,21	16,27	7,42	0,43	<b>1,63</b>
<b>AC</b>	47-85	42,89	8,40	23,56	17,77	6,95	0,42	<b>2,12</b>
<b>C1</b>	100-128	41,76	8,13	24,27	19,64	5,87	0,33	<b>2,41</b>

La Figura 5 muestra la distribución del IM en profundidad de cada horizonte en los suelos estudiados. Se aprecia un claro agrupamiento de los horizontes superficiales en el sector superior derecho, mientras que los subsuperficiales lo hacen en el inferior izquierdo, en ambos casos, como consecuencia de un índice similar. Esta marcada diferenciación se produce en La Rinconada, El Manantial y Cañete entre los 70 y 80 cm de profundidad, no así sin embargo en San Agustín, donde A, AC y C1 se agrupan junto a los horizontes superficiales de aquellos.

Es interesante notar que este análisis se corresponde con el estudio granulométrico de detalle (Fig. 4), que in-

dica una discontinuidad que separa el depósito superficial (I), de los subyacentes, a profundidades similares.

La primera conclusión a que se puede arribar por lo tanto, es que en los horizontes de los suelos actuales (Ap1-Ap2-AB de La Rinconada; Ap1-Ap2-BA-Bt1 de El Manantial; Ap1-Ap2-BA de Cañete y A-AC-C1 de San Agustín) existe un enriquecimiento de material piroclástico señalado por el aumento en la relación Or/An (Tabla 6). El índice mineralógico indica por consiguiente, una discontinuidad que separa el depósito reciente (I), de los más antiguos, donde se desarrollaron los suelos enterrados. Este análisis admite por lo tanto, la correlación de los horizontes superficia-

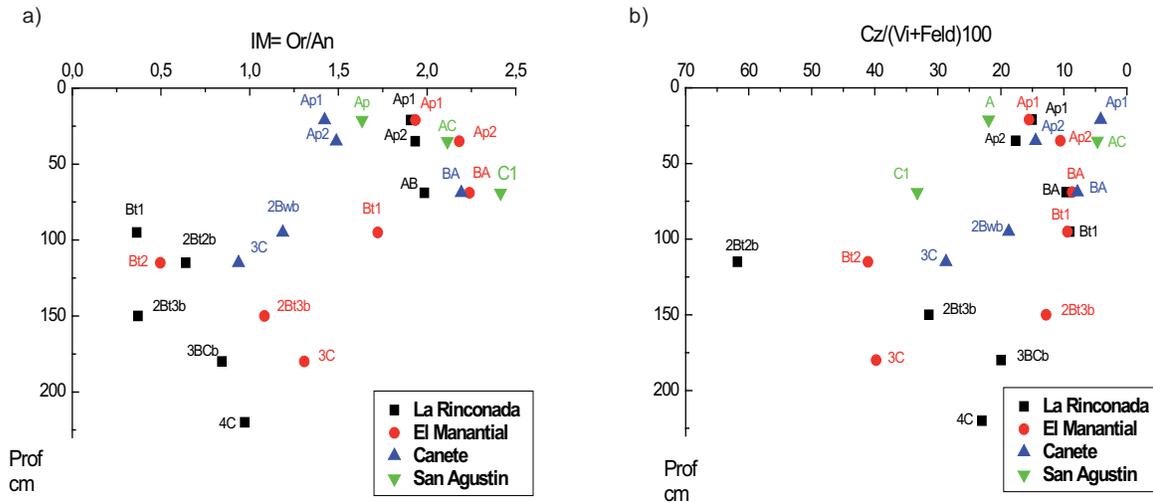


Figura 5. a) Distribución del Índice Mineralógico Normativo (IM) en profundidad. b) Distribución del Índice  $Cz/(Vi+Feld)100$  en profundidad. Referencias: Cz: cuarzo; Vi: vidrio volcánico; Feld: feldspatos.

Figure 5. a) Depth distribution of Normative Mineralogical Index (IM). b) Depth distribution of  $Cz/(Vi+Feld)100$  Index. References: Cz: quartz; Vi: volcanic glass; Feld: feldspars.

les de La Rinconada (Ap1-Ap2-AB; índices: 1,91-1,93-1,99, respectivamente), El Manantial (Ap1-Ap2-BA-Bt1; índices: 1,93-2,18-2,24-1,72); y Cañete (Ap1-Ap2-BA; índices: 1,42-1,49-2,19) con el suelo San Agustín (A-AC-C1; índices: 1,63-2,12-2,41) (Fig. 6a y 6b).

A similares resultados se arriba cuando se aplica el índice  $Cz/(Vi+Feld)100$  de la fracción arena (88-125  $\mu$ ) (Morrás, 2003) (Tabla 3). La Figura 5b, muestra dos claros agrupamientos: uno en el sector superior derecho de los horizontes superficiales de los suelos actuales (índice entre 4 y 15) y otro en el inferior izquierdo que reúne los horizontes subsuperficiales de los suelos enterrados (índice entre 18 y 61). La excepción la constituyen 2Bt3b de El Manantial (índice 12,8) que no se agrupa junto a horizontes subsuperficiales de suelos enterrados y los horizontes A y C1 del suelo San Agustín (índices 21,9 y 33,3, respectivamente) que no lo hacen junto a los horizontes superficiales de los suelos actuales. Es posible que este hecho tenga su explicación en que el índice  $Cz/(Vi+Feld)100$  no contempla la totalidad del material originario sino tan sólo la fracción arena (88 y 125  $\mu$ ) que constituye solamente entre el 5 y 10% del mismo. No obstante, el índice mineralógico  $Cz/(Vi+Feld)100$ , indica una discontinuidad que separa el depósito reciente (I), de los más antiguos, en los suelos La Rinconada, El Manantial y Cañete al igual que lo hace el Índice Mineralógico Normativo (IM) (Fig. 6a y 6b).

#### Dataciones. Naturaleza y origen de los materiales

El horizonte AB del suelo La Rinconada (35-69 cm) resultó en una edad de  $1780 \pm 350$  años AP, y el horizonte 3C del suelo El Manantial (115-150 cm) fechó  $9970 \pm 420$  AP. De acuerdo con estas edades, la unidad III del suelo El Manantial (Fig. 4 h), se depositó en el Holoceno Temprano, correspondiente al Período Seco del Pleistoceno Tardío-Holoceno, situado entre los 14000 y 8000 años AP (Iriondo & Kröhling, 1995; Carignano, 1999; Zárate, 2002). La pedogénesis de esta unidad y la suprayacente II, se habría producido durante el Período Húmedo Hypsithermal u Optimum Climaticum del Holoceno medio (8000-3500 años AP). Paleosuelos de este período han sido identificados y descritos por varios autores en distintos lugares del país (Carignano, 1999; Zárate, 2002; Cantú, 1992; Cantú *et al.*, 2004, 2006). La carencia de fechados de la base de los demás perfiles no permite la reconstrucción de eventos deposicionales y pedológicos en la transecta completa de suelos enterrados, no obstante, de acuerdo a las características morfológicas de los perfiles La Rinconada y El Manantial (horizontación, estructura, consistencia, tipo y expresión de cutanes) se estima en términos relativos, una edad similar para La Rinconada y El Manantial.

La segunda datación, indica que la unidad deposicional I, se depositó durante el período seco del Holoceno superior (Iriondo & Kröhling, 1995; 2002). Este depósito, corresponde al material originario de los suelos actuales que

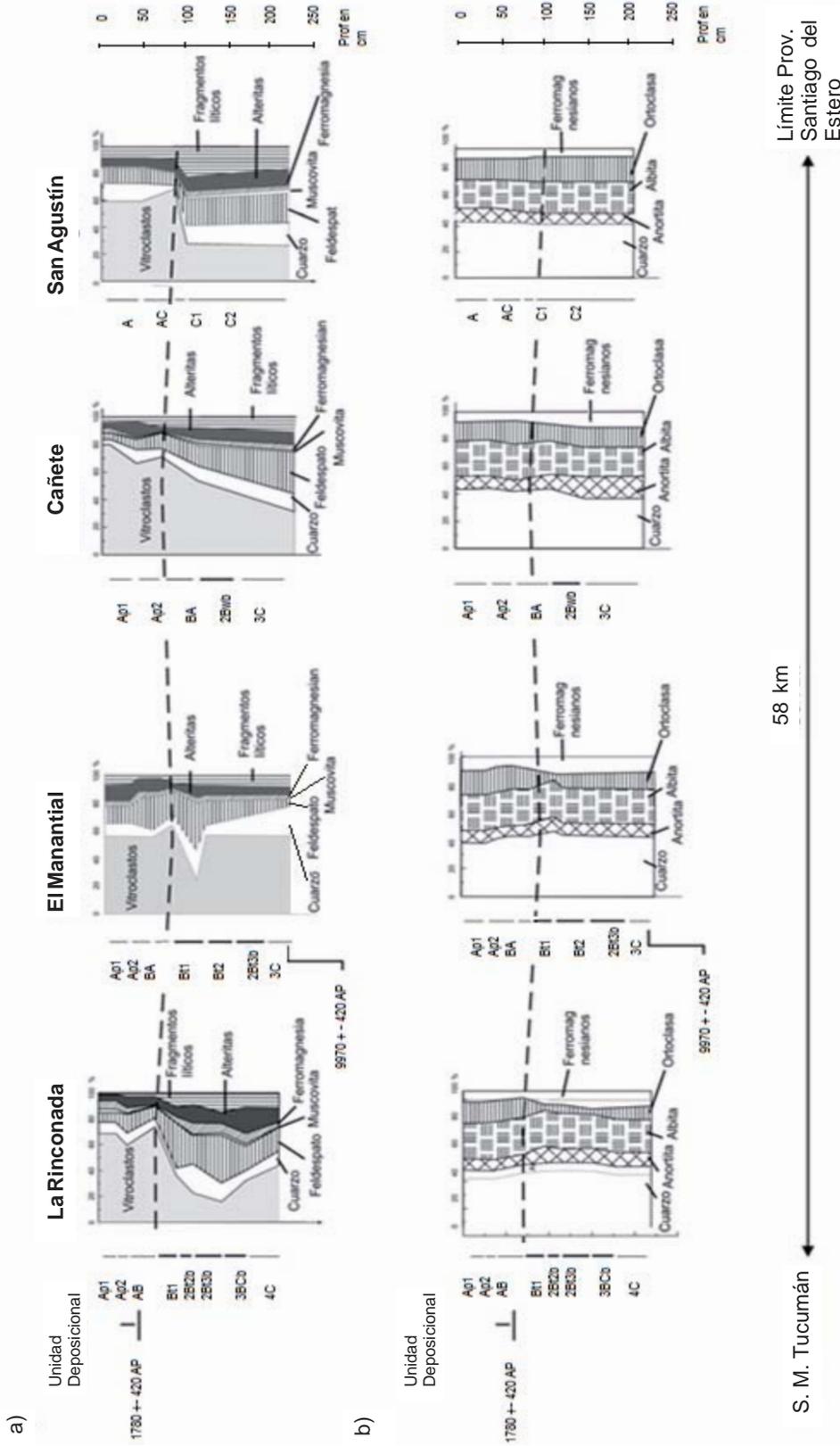


Figura 6. Distribución mineralógica regional. Llanuras Pedemontana y Chaco Pampeana de Tucumán. Transecta La Rinconada (Pedemonte Húmedo) - San Agustín (Llanura Oriental Semiárida). a) Fracción arena modal (88 - 125 μ). b) Mineralogía normativa fracción esquelética.  
 Figure 6. Mineralogical regional distribution. Pedemountain and Chaco-Pampean plain of Tucumán. La Rinconada (Wet Pedemountain) - San Agustín (Semi-arid Eastern plain) transect. a) Modal sand fraction (88 - 125 μ). b) Skeletal normative mineralogical fraction.

habría sido edafizado durante el período Máximo Medieval. Cantú, 1992; Cantú *et al.*, 2004, 2006, en la región central del país, mencionan que por encima de los suelos erodados remanentes, durante este período se reanudaron los procesos pedológicos, formando los suelos actuales, con desarrollo de horizontes B y ricos en materia orgánica. En la base de esta unidad deposicional, se detecta la discontinuidad más clara, de acuerdo a los estudios texturales y mineralógicos de detalle, separando los suelos actuales de los suelos enterrados (Fig. 4; 5a y 5b; Fig. 6a y 6b). Sin embargo, el límite entre horizontes en todos los casos es claro y suave, y no se observan a campo, rasgos como costras o laminaciones que indiquen una superficie de erosión entre las distintas unidades deposicionales. Sólo se observan a campo sutiles diferencias morfológicas a partir de las cuales no es posible distinguir discontinuidades (Bilzi & Ciolkosz, 1977; Meixner & Singer, 1981; Imbellone & Camilión, 1984). Por ejemplo: en el suelo La Rinconada las diferencias entre los horizontes Bt1 y 2Bt2b son de color (cromas de 3 y 4, respectivamente) y consistencia en húmedo (de friable a firme, respectivamente). En el suelo El Manantial los horizontes Bt2 y 2Bt3b difieren en el color (cromas de 3,5 a 4, respectivamente), la estructura (prismas compuestos irregulares a bloques angulares irregulares, respectivamente) y la expresión de los cutanes (de abundantes y gruesos, a escasos y medios, respectivamente). Estas diferencias, bien pueden adjudicarse a evolución pedogenética propia del suelo. Sin embargo, cuando se realiza el estudio detallado textural y mineralógico, los distintos índices aplicados y parámetros sedimentológicos convergen en señalar la presencia de discontinuidades litológicas entre esos horizontes (Fig. 4; 5a y 5b; Fig. 6a y 6b). Estas permiten interpretar una tendencia evolutiva similar en los distintos materiales parentales, la que estaría asociada a condiciones ambientales análogas de mayor oferta de humedad acontecidas en distintos lapsos de tiempo durante el Holoceno.

Los minerales que acompañan al vidrio volcánico en la fracción arena modal, muestran asimismo el origen volcánico del material originario. La naturaleza de los cristaloclastos constituidos por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa principalmente, señala una composición riolítica y andesítica. La composición de la plagioclasa, albita-oligoclasa, al igual que la plagioclasa zonada que se encuentra frecuentemente, señalan en el mismo sentido, un origen volcánico de composición ácida. La presencia de minerales como sanidina (feldespato de alta temperatura,

típicamente volcánico) y de fragmentos líticos, compuestos esencialmente por cuarzo y feldespato potásico inmersos en una pasta felsítica, revelan el aporte volcánico de esa composición al material originario. Estos componentes minerales constituyen junto con las alteritas la población mayoritaria del material originario. Muestran en general una morfología redondeada a subredondeada. Se presenta al mismo tiempo una población minoritaria, angulosa a subangulosa constituida esencialmente por cuarzo y plagioclasa, que sugiere una procedencia del basamento cristalino de las Sierras Pampeanas y Sierras Subandinas. Los minerales augita, hornblenda, biotita, muscovita, turmalina y apatita, al igual que la illita de alta cristalinidad sugieren igual procedencia. A esto se agrega un aporte directo de lluvia de cenizas volcánicas de composición riolítica, como lo indican las trizas de vidrio volcánico analizadas, que se incrementan notablemente hacia los horizontes superiores de los suelos actuales.

El origen de esta composición mineral, puede analizarse en referencia a dos modelos que explican el origen del loess. El Modelo Chaqueño postula que los sedimentos loésicos fueron deflacionados de la llanura de inundación de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Parapetí que drenan los Andes Bolivianos y depositados en la Región Chaqueña por vientos provenientes del norte (Formación Urundel, Iriondo, 1997). Sin embargo, la mineralogía que lo caracteriza, exento de material volcánico, no es la encontrada en el material originario de los suelos estudiados.

Otro modelo es el clásico postulado por Teruggi (1957), que apunta como área fuente el norte de Patagonia y los Piedemontes Andinos, donde vastas extensiones de rocas volcánicas y depósitos vulcanoclásticos habrían sido deflacionados por vientos provenientes del oeste y sudoeste.

Bajo el enfoque de este modelo y las particularidades ambientales de cada dominio geográfico fueron interpretados los depósitos loésicos de Pampa Sur, Pampa Norte y los de los Valles intermontanos de Tucumán (Zarate, 2002; Teruggi, 1957; Gonzalez Bonorino, 1965; Kröhling, 1999; Kröhling & Orfeo 2002; Iriondo, 1997; Iriondo & Kröhling, 1995; Teruggi & Imbellone, 1987; Morrás & Delaune, 1985; Morrás, 2003; Sayago 1995). En ellos se identifica una proporción variable de material vulcanoclástico, el que estos autores infieren, proveniente de la región andina transportado por vientos del oeste y sudoeste. Aportes sedimentarios de distintas fuentes complementan en cada área la composición mineral (Sierras Pampeanas, Cuenca del Paraná) (Muhs *et al.*, 2014).

De acuerdo a la similitud composicional encontrada con el material originario de los suelos estudiados, constituida fundamentalmente por material vulcanoclástico, más allá del aporte local procedente del basamento cristalino, es posible que el loess de la llanura tucumana tenga un origen análogo.

En la Llanura Pampeana han sido identificados depósitos cineríticos en numerosas localidades (Imbellone & Camilión, 1984; Morrás, 1994, citado por Zarate, 2002). Este hecho también es significativo en la llanura tucumana donde se han encontrado en varias localidades capas de cenizas volcánicas que "proviene de manifestaciones de regiones alejadas del noroeste del país" (González & Durand, 1998). Zárate (2002) cita como una fuente potencial de lluvia de cenizas volcánicas al Distrito Volcánico del Altiplano perteneciente a la Zona Volcánica Central (14°S-28°S). Éste constituye una de las áreas volcánicas más extensas del mundo y en donde se encuentran volcanes activos como El Lascar que en el año 1993 eyectó gran cantidad de cenizas cubriendo grandes extensiones en la Región del NOA (González Ferrán, 1995).

En la llanura tucumana se han identificado depósitos de cenizas volcánicas en las localidades de Famaillá y Taco Ralo (Centro y SE de la provincia) (Peña, 1984, citado por Fernández, 1998) y en el Valle de Tafí, donde se menciona un "antiguo paleoambiente lacustre de depositación de lluvia de cenizas" asignadas al Holoceno inferior-superior (Fernández, 1998).

Estos depósitos tendrían su correlato con el abundante material vulcanoclástico identificado en los suelos estudiados que una vez "mezclado y diluido" por el retransporte hídrico y/o eólico, fuera a su vez edafizado con distinta intensidad de acuerdo a la variabilidad edafoclimática de los suelos de la llanura.

La mineralogía encontrada en el material originario de los suelos indica claramente que estas fuentes: andina, basamento cristalino y aporte directo de lluvia de cenizas volcánicas, han sido prácticamente las mismas durante todo el Holoceno.

## CONCLUSIONES

1. El material originario de los suelos estudiados corresponde a un *loess típico* con una moda principal entre 4 y 5  $\Phi$  (limo grueso-arena muy fina), un tamaño promedio de limo grueso y materiales mal seleccionados.

2. Está constituido por varios depósitos separados por discontinuidades. El más antiguo se depositó en el Holoceno inferior y es donde se desarrollaron los paleosuelos de las regiones del Pedemonte Húmedo-Perhúmedo y Llanura Chaco Pampeana Subhúmeda-Húmeda u Occidental. El más reciente se depositó en el Holoceno superior, a partir del cual se desarrollaron los suelos actuales.
3. El análisis mineralógico señala esencialmente dos poblaciones minerales: una mayoritaria de origen vulcanoclástico que sugiere un aporte eólico de procedencia andina de composición riolítica-andesítica. Una población minoritaria procedente del basamento cristalino al que se suma un aporte directo de lluvia de cenizas volcánicas de composición riolítica.
4. El índice Mineralógico Normativo, ha resultado funcional en la correlación de los depósitos recientes enriquecidos en material piroclástico y sugiere una correlación que separa los suelos actuales de los enterrados en toda la transecta desde la Llanura Pedemontana al oeste hasta la Llanura semiárida al Este.

## AGRADECIMIENTOS

A la memoria de Guillermo Fadda que orientó la idea original de este trabajo. A los miembros de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán por su colaboración en los trabajos de campo, análisis químicos y consultas en general. Al Dr Edgardo Baldo por los análisis de microsonda. A la Dra Nilda Menegatti por los análisis de rayos X de la fracción limo. A Verónica Grosello por su dedicación y esmero en los dibujos. Al Dr Héctor Morrás y la MSc Lic María del Carmen Blanco por la revisión del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bidart, S. 1992. Clasificación de los sedimentos eólicos del Pleistoceno Tardío-Holoceno del sur de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Una propuesta. Cuarta Reunión Argentina de Sedimentología, La Plata, Argentina, Actas 2: 159-165.
- Bilzi, AF & EJ Ciolkosz. 1977. A field morphology rating scale for evaluating pedological development. *Soil Sc* 124(1): 45-48.
- Bonaparte, JF & J Bobovnikov. 1974. Algunos fósiles pleistocénicos de la Provincia de Tucumán y su significado estratigráfico. *Act. Geol. Lill.* 12: 169-188.

- Cantú, MP. 1992. Holoceno de la Prov. de Córdoba. Manual: Holoceno de la República Argentina. Tomo I. Dr Martín Iriondo (ed). Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. Autor invitado. 24 págs. Paraná. Argentina.
- Cantú, MP; HF Schiavo; TB Musso & AR Becker. 2004. Paleosuelos del Pleistoceno superior-Holoceno del Sur de la provincia de Córdoba, Argentina. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, junio de 2004. 12 pp.
- Cantú, MP; HF Schiavo; AR Becker; L Zhou & MT Grumelli. 2006. Pleistoceno Superior Tardío-Holoceno de la cuenca media del arroyo Santa Catalina, Prov. de Córdoba, Argentina. III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, 10pp.
- Carignano, CA. 1999. Late Pleistocene to recent climate change in Córdoba Province, Argentina: Geomorphological evidence. *Quaternary International* 57/58: 117-134.
- Fadda, GS. 1969. Una climosecuencia de suelos de la Provincia de Tucumán. V Reu Arg de Ccia Suelo. Sta Fe. Actas: V-7: 311-322.
- Favero, LA & F González Bonorino. 1966. Mineralogía de la fracción arena y arcilla de suelos de Tucumán. Inf Inéd Cat Edaf Fac. Agron y Zoot. UNT
- Fernández, RI. 1998. Cap. Rocas Efusivas y Piroclásticas. *Er: Geología de Tucumán*. Ed. Col Grad. Ccias Geol de Tuc 288 pp.
- Folk RL & WC Ward. 1971. Mathematical treatment of size distribution data. *Er: R Carver (ed). Procedures in sedimentary petrology*. Wiley-Interscience. New York. Pp. 109-127. Earle F McBride. Univ. Austin, Austin, Texas.
- González Bonorino, F. 1950. Descripción geológica de la Hoja 13e «Villa Alberdi» (Tucumán). Bol. 74, Dir. Mac. Geol y Min.
- 1951. Descripción Geológica de la Hoja 12c, Aconquija (Catamarca-Tucumán), Dir. Nac. De Minería, Vol. N° 75, 50p. Bs As.
- 1965. González Bonorino, F. 1966. Soil clay mineralogy of the Pampa plains, Argentina. *Journal of Sedimentary Petrology* 36(4): 1026-1035.
- González, CR & FR Durand, 1998. Geología de Tucumán. Cap Historia Geológica. *Er: Geología de Tucumán*. Ed. Col Grad. Ccias Geol de Tuc 288 pp.
- González Ferrán, O. 1995. Volcánes de Chile. Centro de Investigaciones Volcanológicas, pp. 640. Global Volcanism Program / Smithsonian National Museum of Natural History. <http://www.volcano.si.edu/index.cfm>.
- Imbellone, PA & MC Camilión. 1984. Aplicación de diferentes criterios para identificar discontinuidades litológicas. Partido de Carlos Tejedor, Prov. de Bs. As. *Cc. del Suelo* 2(1): 149-158.
- Imbellone, PA; JE Giménez & JL Panigatti. 2010. Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación. Ed. INTA. Bs As. 320 pp.
- Iriondo, MH. 1997. Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. *Journal of South American Earth Sciences* 10: 71-79.
- Iriondo M & DM Kröhling. 1995. El Sistema Eólico Pampeano. Com. Mus. Prov. Cs. Nat. Prov. de Sta Fe 5(1): 1-68.
- Key to Soil Taxonomy 2014. Soil Survey Staff USDA Natural Resources Conservation Service. 12th ed. Washington DC 360 pp.
- Kilmer VJ & LT Alexander. 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 68: 15-24.
- Kröhling, DM. 1999. Sedimentological maps of the typical loessic units in North Pampa, Argentina. *Quaternary International* 62: 49-56.
- Kröhling, DM & O Orfeo. 2002. Sedimentología de unidades loésicas (Pleistoceno tardío-Holoceno) del centro-sur de Santa Fe. *Asociación Argentina de Sedimentología* 9(2): 135-154.
- Langohr, R; CO Scoppa & A Van Wambeke. 1976. The use of comparative particle size distribution index for the numerical classification of soil parent materials: application to Mollisol of the Argentinian Pampa. *Geoderma* 15: 305-312.
- Lelong F & B Souchier, 1984. Cap 1. Métodos de identificación y cuantificación de los constituyentes. *Er: Masson (ed). Edafología. Constituyentes y propiedades del suelo*. Vol 2. París. 461 pp.
- Meixner RE & MJ Singer. 1981. Use of morphology rating system to evaluate soil formation and discontinuities. *Soil Sc* 131(2): 114-123.
- Merodio, JC & LA Spalletti. 1988. Composición normativa y clasificación de rocas pelíticas. *Rev Museo L Plata (Nueva Serie)*. T X, *Geol.* 87: 149-170.
- Morgan, GB & D London. 1996. Optimizing the electron microprobe analysis of hydrous alkali aluminosilicate glasses. *Am Mineralogist* 81: 1176-1185.
- Morrás, H., 1994. Descripción y caracterización analítica de depósitos piroclásticos en dos perfiles de suelo de la región chaqueña. Actas V Reunión Argentina de Sedimentología, 165-170.
- Morrás, JM. 2003. Distribución y origen de sedimentos loésicos superficiales de la pampa norte en base a la mineralogía de arenas. Resultados preliminares. *Rev AAS* 10(1): 53-64.
- 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. *Ccia. del Suelo* 3(1-2): 140-151.
- Moscattelli, G; J Salazar Plaza; R Godagnone; MA Cuenca; V Nakama & M Caceres. 1998. Estudio para la Reconversión del Sector Agropecuario de la Provincia de Tucumán. CIRN-INTA. Bs. As. 221 pp.
- Muhs DR; R Stephen; CO Crouvi; DD Rousseau; J Sun & MA Zárate. 2014. Mineral Dust: A key player in the Earth System, Chapter 16: Loess Records, Pub: Springer Verlag, Eds: P Knippertz, JB Stuu, pp.411-441.
- Peña, HA. 1970. Minerales y Rocas de Aplicación de la Provincia de Tucumán. Publ Esp Dir Prov Min Dir Com Ind y Min. Gov. Prov Tuc. Pp 1-30. Tucumán.
- Röhmeder, G. 1945. Bosquejo fisiográfico de Tucumán. *Inst Estad y Geogr UNT Mon* 6 P 40.
- Sayago, JM. 1995. The Argentine Neotropical loess: an overview. *Quaternary Sciences Reviews* 14: 755-766.
- 1999. Aproximación regional al loess subtropical argentino. I Congr Arg de Cuat y Geomorf. Actas 1: 159-175.
- Sayago, JM; MM Collantes & MA Toledo. 1998 a. Cap. Geomorfología. *Er: Geología de Tucumán*. Ed. Col Grad. Ccias Geol de Tuc 288 pp.
- Sayago, JM; JE Powell; MM Collantes & L Neder. 1998b. Cap. Cuaternario. *Er: Geología de Tucumán*. Ed. Col Grad. Ccias Geol de Tuc 288 pp.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic Rock its proper name. *Earth Science Rev. Bd.* 12 p.1-33 Amsterdam, London, New York, general, petrografía, clasificación. <http://www.geovirtual.cl/geologigeneral/ggcap04a.htm>

- Teruggi, ME. 1957. The nature and origin of argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 322-332.
- Teruggi ME & PA Imbellone, 1987. Paleosuelos loésicos superpuestos en el Pleistoceno superior-Holoceno de la región de la Plata. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev Ccia. del Suelo* V (2): 175-188.
- Teruggi, ME; MM Mazzoni; LA Spalletti & RR Andreis. 1978. Rocas piroclásticas. Interpretación y Sistemática. AGA. Publ. Esp. Serie B (5).
- Torres Bruchman, EA. 1972. Mesoclimas de la Provincia de Tucumán. *Rev. Agronom del NOA IX* (3-4): 527-344.
- Vargas Gil, JR. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. SAG y P INTA, Castelar. Centro de Inv de Rec Nat II: 561-604. Bs. As.
- Walkley & Black. 1965. Organic matter method. *In: CA Black (ed) Method of soil analysis. Part 2 A. Soc. Agr. N° 9. Pp 1372-1376.*
- Wang C & RW Arnold. 1973. Quantifying pedogenesis for soils with discontinuities. *Soil Sci Soc Am Proc* 37: 271-278.
- Zappino, RO. 2012. Sedimentología de Suelos Poligenéticos en la Llanura Pedemontana de Tucumán. XXIII Congr Arg y XIX Latinoamericano de la Ccia. del Suelo Mar del Plata. Actas.
- Zárate, MA. 2002. Loess of South America. *Quaternary Science Reviews* 22(2003): 1987-2006.
- Zink, JA. 2006. The soil cover. *In: Land use change and land degradation in the western Chaco. JA. Zink (ed). ITC Publ N°84. Enschede. The Netherlands.*
- Zuccardi, RB. 1969. Procesos Pedogenéticos en la Prov de Tucumán. V Reu Arg Ccia. del Suelo. Sta Fe. Actas V-35:466-475.
- Zuccardi, R & G Fadda. 1972. Mapa de reconocimiento de suelos de la Provincia de Tucumán. Ed. UNT. Publ. especial (3).
- Zuccardi, R. & G Fadda. 1985. Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán. Fac. de Agronom. y Zoot UNT Misc 86.