

GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE UNA CLIMOSECUENCIA DE SUELOS DE LA LLANURA DE TUCUMÁN

RODOLFO OSCAR ZAPPINO^{1*}; MARIO PABLO CANTÚ¹, ANALÍA BECKER¹

Recibido: 21/8/2018

Recibido con revisiones: 22/11/2018

Aceptado: 23/11/2018

RESUMEN

Se estudia la génesis y evolución de una transecta de suelos en la Llanura tucumana desde la Región Húmeda occidental hacia la Región Semiárida oriental. Se utilizó el método de los balances de alteración, técnicas micromorfológicas y análisis químicos en suelo total y en vidrio volcánico. Se ha encontrado que en los paleosuelos y suelos actuales de la Región Húmeda, existe una pérdida de materia continua y progresiva desde la base hasta el techo de los suelos, asociada a una neoformación de arcilla y pérdida de bases, hierro y aluminio. El estudio micromorfológico sugiere, una tasa de sedimentación variable con pedogénesis. Estas características definen una pedogénesis sustractiva-redistributiva en los paleosuelos, y otra aditiva-redistributiva en los suelos actuales de esta región, en la que el proceso pedogenético predominante es el de illimerización. En la Región Semiárida el balance de alteración indica neoformación de arcilla. La escasa alteración mineral, acompañada por una acumulación de sales solubles, hierro y aluminio, indica que tendría su origen en la alteración del vidrio volcánico de acuerdo con los resultados del análisis por microsonda. En esta región la pedogénesis es aditiva-conservativa y el proceso pedogenético predominante el de calcificación o isohumismo. El análisis muestra claramente que las diferencias en la neoformación de arcillas pueden atribuirse, tanto en los paleosuelos como en los suelos actuales, al gradiente de precipitaciones que se registra en la llanura tucumana, desde la Región Húmeda occidental hacia la Región Semiárida oriental.

Palabras clave. Génesis y evolución de suelos, balance de alteración, micromorfología, Provincia de Tucumán.

GENESIS AND EVOLUTION OF A SOIL CLIMOSEQUENCE OF THE TUCUMAN PLAIN

ABSTRACT

The genesis and evolution of a soil transect was studied from the western Humid Region to the eastern Semi-Arid Region in the Tucuman's plain. The method of alteration balances, micromorphological techniques and chemical analysis, in total soil and in volcanic glass, was used. It has been found that in the paleosols and recent soils of the Humid Region, there is a continuous and progressive loss of matter from the base to the top of the soils, associated with neoformation of clay and loss of bases, iron and aluminum. The micromorphological study also suggests, a variable sedimentation rate with pedogenesis. These characteristics define a subtractive-redistributive pedogenesis in the paleosols, and an additive-redistributive pedogenesis in the current soils of this region, in which the clay illuviation is the predominant pedogenetic process. In the Semi-Arid Region the alteration balance indicates neoformation of clay, despite the scarce mineral alteration, along with an accumulation of soluble salts, iron and aluminum, which would originate in the alteration of the volcanic glass as indicated by the microprobe analysis. In this region, the pedogenesis is additive-conservative and the predominant pedogenetic process the calcification or isohumism. The analysis clearly shows that the differences in the neoformation of clays can be attributed, both in paleosols and recent soils, to the rainfall gradient that is registered in the Tucuman plain, from the Western Humid Region to the Eastern Semi-Arid Region.

Key words. Genesis and evolution of soils, alteration balance, micromorphology, Tucuman's province.

¹ Universidad Nacional de Río Cuarto

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

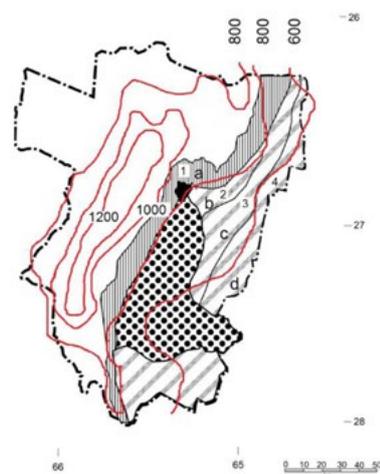
INTRODUCCIÓN

La Llanura tucumana constituye una extensa planicie cubierta superficialmente por sedimentos loésicos. Los suelos que se desarrollaron a partir de este material están compuestos en su mayoría por el orden Molisoles (Soil Survey Staff, 2014). Su génesis está ligada fundamentalmente a factores bioclimáticos. Un marcado gradiente de precipitaciones desde la Región Pedemontana occidental (1200-1000 mm), hacia la Región Semiárida oriental (500 mm), asociado a una primitiva vegetación climática, genera/generó el desarrollo diferencial de suelos que se manifiesta en la estructura, sucesión de horizontes, intensidad de lavado de arcilla, contenido de materia orgánica y lixiviación de carbonatos (Fadda, 1969; Zuccardi, 1969a, Zuccardi, 1969b; Zuccardi & Fadda, 1972; 1985) (**Figura 1**).

La vegetación primitiva asociada a los suelos, estaba constituida de oeste a este por el bosque subtropical, el bosque de transición y el bosque chaqueño. **El Bosque Subtropical** se extendió en la llanura pedemontana que bordea la Sierra del Aconquija, donde las precipitaciones son superiores a los 1000 mm. Estaba representado por árboles de gran porte con especies típicas como

el Laurel y Horco Molle. **El Bosque de Transición** se extendió entre la región pedemontana y los bosques chaqueños, cubriendo la llanura central entre las isohietas de 1000 y 800 mm donde se desarrollaron árboles como La Tipa y el Pacará. **El Bosque Chaqueño** ocupaba la Llanura Chaco-Pampeana al este de la isohieta de los 800 mm. Comprendería el bosque de Tala y Mistol, y el bosque de Quebracho, cuyos ejemplares típicos eran el Quebracho Colorado y Quebracho Blanco. Las áreas más secas, estaban cubiertas por El Bosque de Algarrobo con precipitaciones menores a los 500 mm. Esta vegetación primitiva fue paulatinamente reemplazada por la actividad agrícola que se extendió de oeste a este en la provincia a partir de la década de 1970.

Estudios mineralógicos y sedimentológicos detallados (Zappino *et al.*, 2016) indican que el material parental de estos suelos corresponde a un loess típico, constituido por varios depósitos separados por discontinuidades litológicas. La principal, separa suelos actuales, de edad holocena tardía, de paleosuelos enterrados, cuya base data del holoceno temprano. Indican asimismo una correlación de los depósitos recientes, desde la Llanura Pedemontana al oeste hasta la Llanura Semiárida al este. La mineralogía muestra una



LEYENDA

I	[Llanura Pedemontana] Isohieta
		a - Pedemonte Húmedo y Perhúmedo		
II	[Llanura Chaco Pampeana	1 - Perfil La Rinconada (Argiudol típico)
		b - Subhúmeda - Húmeda u Occidental		2 - Perfil El Manantial (Argiudol típico)
		c - Seca - Subhúmeda o Central		3 - Perfil Cañete (Haplustol típico)
		d - Semiárida u Oriental		4 - Perfil San Agustín (Haplustol éntico)
			Llanura Aluvial	

Figura 1. Regiones Naturales e Isohietas de la Provincia de Tucumán. (Tomado parcialmente de Zuccardi y Fadda, 1985 y de Tineo *et al.*, 1998, respectivamente). I. Región Húmeda; II. Región Semiárida.

Figure 1. Natural Regions and Isohyets of Tucumán Province (partially taken from Zuccardi and Fadda, 1985 and from Tineo *et al.*, 1998, respectively). I. Humid Region; II. Semi-arid region.

población de origen volcánico que sugiere un aporte eólico del arco volcánico andino y una minoritaria, procedente del basamento cristalino, a las que se suma un aporte directo de lluvia de cenizas volcánicas.

Estas características, soportan la hipótesis que los suelos se han desarrollado a partir del mismo material parental. Es razonable asumir por lo tanto, que el tenor de arcilla encontrado en los suelos de la Región Húmeda no es en su totalidad heredado, como se estima en otros dominios geográficos de la pampa (Teruggi, 1957; González Bonorino, 1965). Se presume, que en los suelos de la llanura tucumana ha existido neof ormación de arcilla y que su tenor se encuentra en relación al gradiente de precipitaciones que se registra en la llanura.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la génesis y desarrollo alcanzado en los suelos actuales y paleosuelos de la llanura tucumana, estableciendo un balance de alteración medio - tipo por región climática.

Se presenta una metodología especialmente diseñada para evaluar el desarrollo alcanzado en estos suelos, que se caracterizan por poseer variable contenido de vidrio volcánico en el material parental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La llanura tucumana ocupa el centro-este de la provincia. Abarca aproximadamente la mitad de su superficie con 11.260 Km². Se encuentra conformada por tres regiones naturales: la Llanura Pedemontana, la Llanura Chaco Pampeana y la Llanura Aluvial (**Figura 1**).

Los suelos

En el presente estudio, se analiza una transecta en la latitud aproximada de los 26° 53' sur mediante el método de los balances de alteración, técnicas micromorfológicas y análisis químicos en suelo total y en vidrio volcánico. Asimismo, estos datos se compararon con la descripción macromorfológica de los perfiles, datos fisicoquímicos (**Tabla 1**) y el estudio detallado del material parental (Zappino *et al.*, 2016). La transecta se extiende desde la región del

Pedemonte Húmedo-Perhúmerdo (Suelo La Rinconada: Argiudol típico), hacia la Llanura Chaco Pampeana Húmeda-Subhúmeda u Occidental (Suelo El Manantial: Argiudol típico), la Llanura Seca-Subhúmeda o Central (Suelo Cañete: Haplustol típico) y Semiárida u Oriental (Suelo San Agustín: Haplustol éntico) (**Figura 1**).

Siguiendo los conceptos de Zuccardi (1969a), se divide la llanura tucumana en dos Regiones Naturales: Región Húmeda (Suelos La Rinconada y El Manantial) y Región Semiárida (Suelos Cañete y San Agustín).

Balance de alteración

El análisis se realiza de acuerdo con el modelo pedogenético propuesto por Simonson (1959), quién considera que los procesos pueden generalizarse en cuatro fundamentales: adiciones, sustracciones, transformaciones y redistribución de materiales. Como consecuencia de ellos, se produce la diferenciación de horizontes. La importancia relativa de cada proceso y su combinación origina un suelo determinado, cuyo desarrollo genético es posible evaluar mediante un *Balance de alteración* (Boul *et al.*, 2003; Richter & Yaalon, 2011)

El método requiere de un material parental con una adecuada uniformidad, un horizonte C o R a partir del cual se haya desarrollado el suelo, y un constituyente mineralógico o químico estable, que permite relacionar las cantidades de materia respecto a un valor de referencia que se estima estable durante la pedogénesis (Lelong & Souchier 1978, 1987).

Implementación

A partir de los estudios llevados a cabo en el material parental de estos suelos (Zappino *et al.*, 2016), en el presente análisis se considera que:

- 1- El material parental de los suelos actuales y paleosuelos, alcanza un *umbral de uniformidad* textural y mineralógico satisfactorio para el estudio.
- 2- Los horizontes C de los suelos de la Región Semiárida, Cañete (Haplustol típico) y San Agustín (Haplustol éntico), constituyen un material

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas seleccionadas (Zappino, et al., 2016)

Table 1. Selected physical and chemical properties

Horiz	Prof. (cm)	Color húmedo	Estructura	Consistencia	pH H ₂ O (1:2,5)	Mat Org (%)	CaCO ₃ (%)	Sat Bases (%)	Arena	Limo (%)	Arcilla	Clase Textural	Cutanes	Límite	
La Rinconada (Argiudol típico)															
Ap1	0-21	(10YR2/2)	Bl subang, me/gr, mo	friable	lig adh, lig pl	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	lig adh, lig pl	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	adh, muy pl	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/gr, mo	friable	muy adh, muy pl	6,8	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/gr, mo	firme	muy adh, muy pl	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	muy adh, muy pl	6,7	-	0,0	95,3	6,0	55,8	38,3	fr ar li	ab gr	cl su
3BCb	150-180	(7,5YR4,5/6)	Bl ang irreg, me, mo	friable	adh, pl	7,0	-	0,0	98,9	7,1	67,4	25,4	fr li	es fi	cl su
4C	180-220	(7,5YR4/4)	-	-	adh, pl	7,0	-	0,0	90,6	7,7	69,3	23,0	fr li	-	-
El Manantial (Argiudol típico)															
Ap1	0-28	(10YR2/1)	Bl subang, me, mo	friable	lig adh, lig pl	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	lig adh, lig pl	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	lig adh, lig pl	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/gr, mo	firme	adh, pl	6,8	0,2	0,0	64,5	16,7	57,8	25,5	fr li	ab gr	cl su
Bt2	78-105	(7,5YR4/3,5)	Pr comp irreg, med, mod	firme	adh, pl	6,7	-	0,0	79,6	11,0	57,8	31,2	fr ar li	ab gr	cl su
2Bt3b	105-115	(7,5YR5/4)	Bl ang irreg, med, mod	firme	adh, pl	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)	-	-	adh, pl	7,0	-	0,0	-	11,0	64,8	24,2	fr ar li	-	-
Cañete (Haplustol típico)															
Ap1	0-29	(10YR2,5/2)	Bl subang, fi, mo	friable	lig adh, lig pl	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	lig adh, lig pl	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	lig adh, lig pl	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	adh, pl	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	adh, lig pl	8,3	-	2,6	-	18,2	72,9	8,8	fr li	-	-
San Agustín (Haplustol éntico)															
A	0-47	(10YR3/1)	Bl subang, me, dé	friable	lig adh, lig pl	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	lig adh, lig pl	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	lig adh, lig pl	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	no adh, no pl	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: clay

parental similar a aquél a partir del cual se han desarrollado los suelos, considerando su escasa alteración y similar mineralogía en toda la transecta. Se utilizó para el cálculo, el horizonte C1 del suelo San Agustín de la Región Semiárida.

- 3- Como Invariante (valor de referencia estable) se utilizó la relación Ti/Zr, considerando la estabilidad de estos elementos y su buena representatividad en los suelos estudiados (Smeck & Wilding, 1980; Milnes & Fitzpatrick, 1989; Amba *et al.*, 1990)

Reconstrucción mineralógica

Se adoptó la metodología propuesta por Lelong & Souchier (1978; 1987). El método se adaptó a los suelos estudiados mediante el Modelo de Cálculo Normativo para Rocas Pelíticas (*sensu* Merodio & Spalletti, 1988). Como el contenido de vidrio volcánico y de alteritas no se puede valorar por este método, estos constituyentes se calcularon a partir del análisis químico del vidrio volcánico, obtenido por microsonda, y el porcentaje modal de la fracción arena.

La mineralogía final se calculó de la siguiente manera:

- 1) Al análisis químico en suelo total se le restó los tenores de hierro, aluminio y sílice, obtenidos por disolución selectiva de óxidos libres en suelo total.
- 2) Se restaron luego los elementos químicos encontrados en el vidrio volcánico y en las alteritas en su proporción molecular (determinados en el análisis por microsonda).
- 3) Sobre la fracción restante, se calculó la mineralogía normativa a partir del Modelo de Cálculo Normativo de Merodio & Spalletti (1988).
- 4) El resultado se recalculó junto al porcentaje modal de vidrio volcánico y alteritas de la fracción arena obteniendo una composición mineralógica global para cada horizonte.

El Balance mineralógico y geoquímico

Se realizó calculando las variaciones de cada constituyente, desde la base hacia el techo de los perfiles. El contenido de cada componente se calculó en su valor absoluto mediante la fórmula de

Meilhac (1970) utilizando la relación Ti/Zr como elemento índice (Invariante).

$$X_i = x_i \cdot (Ti/Zr)_c / (Ti/Zr)_i$$

donde, X_i = valor expresado en g de un constituyente en 100 g de suelo a valor iso Ti/Zr constante; x_i = componente en valor relativo; $(Ti/Zr)_c$ = relación de componente estable en el material parental c ; $(Ti/Zr)_i$ = relación de componente estable en el horizonte i .

El cálculo de la neoformación de arcilla se realizó por el método de los balances de alteración, y paralelamente con el método de Barshad (1967). En este último, se utilizó la relación Ti/Zr como elemento invariante y los porcentuales de arena, limo y arcilla obtenidos por sedimentación (Kilmer & Alexander, 1949). Se calculó el promedio de arcilla neoformada en los horizontes de los paleosuelos y de los suelos actuales. El horizonte C1 de Cañete se consideró como material parental inalterado. El total de arcilla formada se calculó por diferencia en peso con la arcilla actualmente presente.

Finalmente, se evaluó la reconstrucción mineralógica correlacionando los porcentajes de arcilla obtenidos en la reconstrucción mineralógica normativa respecto a aquellos obtenidos por sedimentación.

Determinaciones analíticas

Los óxidos libres se analizaron en la fracción arcilla ($< 1\mu$) y en suelo total.

En fracción arcilla ($< 1\mu$):

- Óxidos cristalinos, paracristalinos y acomplejados de hierro y aluminio se extrajeron mediante ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), (Mehra & Jackson, 1960).

- Óxidos de hierro y aluminio amorfos, complejados y aluminosilicatos amorfos se extrajeron por separado según dos métodos: con oxalato de amonio y ácido oxálico (Blume & Schwertmann, 1969) y con hidróxido de potasio (Hashimoto & Jackson, 1960).

En suelo total: se realizó una nueva extracción (para el cálculo normativo) mediante ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), donde se valoró hierro, aluminio y silicio.

Las determinaciones de hierro y aluminio se efectuaron por absorción atómica, y la de sílice por gravimetría.

- Componentes amorfos se determinaron por el método de Fields & Perrot (1966).

- La mineralogía de arcillas se analizó en la fracción arcilla $< 1\mu$, por difracción de rayos X, homoionizada con Mg^{++} , en preparados orientados, solvatados con etilenglicol y calcinados a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. La cristalinidad de la illita se determinó por los índices de Weaver (1960) y Kubler (1968).

- El análisis químico del vidrio volcánico fresco y alterado (alteritas) se efectuó mediante microsonda de electrones (EPMA).

- Las descripciones micromorfológicas se llevaron a cabo de acuerdo a la metodología propuesta por Bullock *et al.* (1985) y Stoops *et al.* (1997).

RESULTADOS

Verificación del método de reconstrucción mineralógica

En la **Tabla 2** se presenta el porcentaje de arcilla obtenida por sedimentación y reconstrucción mineralógica, y en la **Figura 2** la relación entre las mismas ($r = 0,92$). Se observa un alto grado de correlación lineal positiva que demuestra la consistencia de la metodología utilizada en la reconstrucción mineral.

A partir de ella, fue posible calcular un balance de alteración preciso, permitiendo valorar transformaciones, redistribuciones, pérdidas y ganancias de materia, y deducir procesos evolutivos.

$$Y = 1,8826x + 0,7973$$

$$r = 0,92$$

Tabla 2. Porcentaje de arcilla obtenida por sedimentación (Kilmer & Alexander, 1949) y por reconstrucción mineralógica (Merodio & Spalletti, 1988)

Table 2. Clay percentage obtained by sedimentation (Kilmer & Alexander, 1949) and by mineralogical reconstruction (Merodio & Spalletti, 1988)

		Suelo La Rinconada							
		Ap1	Ap2	AB	Bt1	2Bt2b	2Bt3b	3BCb	4C
(y) arcilla por sedimentación		17,6	17,9	18,6	29,0	29,6	38,3	25,4	23,0
(x) arcilla normativa		25,4	21,6	24,8	29,5	27,4	34,8	26,9	28,9
		Suelo El Manantial							
		Ap1	Ap2	BA	Bt1	Bt2	2Bt3b	3C	
(y) arcilla por sedimentación		19,0	20,3	20,6	25,5	31,2	32,8	24,2	
(x) arcilla normativa		24,2	25,3	23,4	27,3	34,3	38,4	32,6	
		Suelo Cañete							
		Ap1	Ap2	BA	2Bwb	3C			
(y) arcilla por sedimentación		15,4	17,7	13,2	11,2	8,8			
(x) arcilla normativa		18,0	18,5	16,6	17,3	2,3			
		Suelo San Agustín							
		Ap1	AC	C1					
(y) arcilla por sedimentación		12,9	9,6	5,9					
(x) arcilla normativa		10,2	7,9	4,9					

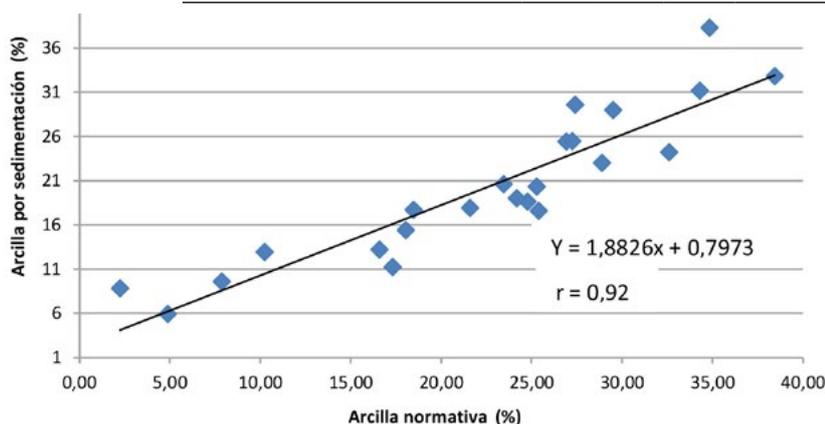


Figura 2. Relación entre porcentajes de arcilla obtenida mediante reconstrucción mineralógica y por sedimentación

Figure 2. Relationship between clay percentages obtained by mineralogical reconstruction and by sedimentation

Balance de alteración

En la **Tabla 3** y **Figura 3** se presentan los balances mineralógicos y geoquímicos en la cual se aprecian las variaciones de los constituyentes desde la base hasta el techo de los perfiles (en el primer grupo se incluyen vidrio volcánico, alteritas y fragmentos líticos). En los balances mineralógicos la materia total perdida o ganada se presenta en el extremo derecho de cada figura (**Figuras 3 a, b, c, d**). Los balances geoquímicos muestran las variaciones de cada elemento expresada como tasa de variación (porcentaje de cada elemento comparado con su contenido original en el material parental) (**Figuras 3 e, f, g, h**).

A continuación se presentan los balances mineralógicos y geoquímicos de los suelos de la Región Húmeda y Región Semiárida:

a) Suelos de la Región Húmeda: La Rinconada (Argiudol típico) y el Manantial (Argiudol típico)

Balance mineralógico

En los paleosuelos de esta región (horizontes 2Bt2b-2Bt3b-3CBb-4C de la Rinconada y 2Bt3b y 3C de El Manantial), los constituyentes que contribuyen en la neoformación de arcilla son en orden de importancia: ortoclasa > plagioclasa > alteritas (también se observa una pérdida de cuarzo) (**Figura 3 a, b**). El contenido de estos constituyentes disminuye de forma brusca desde la base de los perfiles (4C - 3CBb en La Rinconada y 3C - 2Bt3b en El Manantial), paralelamente se observa un aumento en el contenido de arcilla a partir de estos horizontes hacia el techo de los paleosuelos. Con una tasa de alteración media del 40% (TAM) (**Tabla 4**), alrededor del 75% de los constituyentes que se alteran pasan a formar arcilla, mientras que el 25% restante se pierde por drenaje. La arcilla neoformada es de alrededor del 20% y la pérdida por drenaje cercana al 5%. En el sector derecho de las **Figura 3 a y b**, se encuentra representado el movimiento de materia. Se observa que los paleosuelos presentan en general un carácter sustractivo: en La Rinconada, la materia total disminuye desde el material parental del 100 al 81%, mientras que en El Manantial lo hace desde el 100 al 79%. La Rinconada muestra redistribución de materia en los horizontes 2Bt2b-2Bt3b y 3CB.

En los suelos actuales de esta región, (Horizontes Ap-AB-Bt1 de La Rinconada, y Ap-BA-Bt1-Bt2 de El Manantial), la tasa de alteración media (TAM) se encuentra cercana al 30%. De los constituyentes que se alteran, el 70% pasa a formar arcilla, mientras que alrededor del 30% restante, se pierde por drenaje. La neoformación de arcilla es de alrededor del 16% y la pérdida por drenaje cercana al 7% para La Rinconada. El Manantial por su parte, muestra una neoformación de arcilla de aproximadamente 14% y una pérdida por drenaje cercana al 5% (**Tabla 4**).

No obstante, en los suelos actuales de esta región, también se distingue un incremento de materia total producto fundamentalmente del aumento de vidrio volcánico y ortoclasa (Ap-AB-Bt1 de La Rinconada y Ap-BA-Bt1 de El Manantial) (**Figura 3, a y b**).

Balance geoquímico

La distribución de elementos en profundidad se presenta en la **Tabla 3** y **Figuras 3 e, f**. Se observa que las bases, hierro y aluminio, (este último extraído con ácido oxálico + oxalato de amonio), son evacuados de los suelos de la región húmeda, no así, sin embargo el aluminio extraído con hidróxido de potasio que presenta un carácter aditivo (su valor aumenta desde la base hacia el techo de los suelos con respecto al material parental).

- Las bases muestran una pérdida continua desde la base de ambos suelos que en superficie alcanza el 50%.

- El hierro extraído con DCB disuelve las formas cristalinas, amorfas y acomplejadas con la materia orgánica (Fe₂O₃ (d)). Su distribución muestra en general, una pérdida continua, desde la base hacia el techo de los paleosuelos, donde alcanza valores del 30 al 50%. En La Rinconada al mismo tiempo se registra un pequeño aumento en 3CBb. En los suelos actuales se observa un incremento de Fe₂O₃ (d) en los horizontes Bt1, probablemente producto de la segregación de hierro o de la co-migración con arcilla proveniente de los horizontes superiores (Ap-AB de la Rinconada y Ap-BA de El Manantial) (**Figura 3 e, f**)

Tabla 3. Balance mineralógico y geoquímico iso Ti/Zr constante (*).

Table 3. Mineralogical and geochemical balance constant iso Ti/zr (**).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Hzte	Ti/Zr Hzte i	Ti/Zr mat orig	Índice Ti/Zr	Variaciones mineralógicas									Variaciones geoquímicas							
				Vi	Cz	Plag	Or	Iso Ti/Zr			Iso Ti/Zr			Variación (%)						
								Frm	arcilla	Alt	CO3Ca	Materia total	Bases	Fe2O3 (d)	Al2O3 (o)	Al2O3 (k)	Bases	Fe2O3(d)	Al2O3 (o)	Al2O3 (k)
La Rinconada (Argiudol típico)																				
Ap1	17,62	14,62	0,83	27,88	12,79	9,93	2,29	6,60	21,07	2,38	0,00	83	59,20	0,40	0,55	1,66	59	54	101	110
Ap2	17,91	14,62	0,82	23,26	12,64	12,53	4,41	6,52	17,62	4,63	0,00	82	61,20	0,24	0,51	2,16	61	33	94	143
AB	17,61	14,62	0,83	21,56	17,17	12,30	3,95	3,88	20,55	3,59	0,00	83	64,91	0,82	0,54	2,66	65	111	100	176
Bt1	18,85	14,62	0,78	17,54	14,20	12,58	0,00	6,19	22,89	4,13	0,00	78	67,00	0,34	0,35	2,33	67	46	65	154
2Bt2b	17,89	14,62	0,82	10,88	17,17	14,95	0,91	6,70	22,39	8,70	0,00	82	66,10	0,39	0,34	2,00	66	53	64	133
2Bt3b	18,00	14,62	0,81	8,27	17,60	14,19	0,13	7,01	28,29	5,72	0,00	81	77,20	0,36	0,37	2,15	77	48	69	142
3BCb	16,49	14,62	0,89	14,29	13,66	13,70	1,34	9,23	23,87	12,55	0,00	89	88,00	0,72	0,42	2,00	88	97	77	133
4C	17,93	14,62	0,82	18,65	14,17	11,14	0,51	7,35	23,55	6,14	0,00	82	74,30	0,59	0,33	1,63	74	79	60	108
M Orig	14,62	14,62	1,00	16,40	26,34	22,20	14,95	6,43	4,88	8,39	0,41	100	100,00	0,74	0,54	1,51	100	100	100	100
El Manantial (Argiudol típico)																				
Ap1	21,22	14,62	0,69	21,79	5,00	8,00	3,91	8,86	16,67	4,68	0,00	69	50,02	0,31	0,45	1,56	50	69	84	103
Ap2	18,33	14,62	0,80	25,00	8,84	8,83	4,64	7,57	20,15	4,70	0,00	80	62,64	0,24	0,51	1,36	63	80	94	90
BA	17,77	14,62	0,82	23,17	11,82	10,63	4,96	6,45	19,29	5,95	0,00	82	71,34	0,20	0,50	1,24	71	82	93	82
Bt1	18,65	14,62	0,78	24,36	9,82	6,46	0,41	6,60	21,36	9,37	0,00	78	50,31	0,53	0,38	1,77	50	78	70	117
Bt2	19,72	14,62	0,74	10,76	14,24	12,44	0,00	6,11	25,41	5,15	0,00	74	58,90	0,23	0,38	1,82	59	74	70	120
2Bt3b	19,81	14,62	0,74	21,88	6,91	5,19	0,00	8,26	28,37	3,18	0,00	74	61,42	0,13	0,29	1,67	61	74	53	110
3C	18,43	14,62	0,79	25,84	8,97	7,10	0,00	8,82	25,86	2,71	0,00	79	65,57	0,12	0,29	1,78	66	79	54	118
M Orig	14,62	14,62	1,00	16,40	26,34	22,20	14,95	6,43	4,88	8,39	0,41	100	100,00	0,74	0,54	1,51	100	100	100	100
Cañete (Haplustol típico)																				
Ap1	14,49	14,62	1,01	37,88	17,70	14,01	0,00	10,73	18,19	2,38	0,00	101	89,20	0,16	0,76	2,85	89	22	140	189
Ap2	14,97	14,62	0,98	32,76	15,28	14,14	0,73	10,25	18,05	6,43	0,00	98	91,50	0,31	0,62	2,39	92	42	116	158
BA	13,69	14,62	1,07	41,54	16,65	12,24	4,50	11,50	17,71	2,63	0,00	107	101,15	0,54	0,47	1,82	101	74	87	120
2Bwb	14,78	14,62	0,99	28,23	18,72	16,43	2,04	10,46	17,12	5,63	0,27	99	97,51	0,56	0,53	1,30	98	76	99	86
3C	15,05	14,62	0,97	14,05	21,20	28,00	11,14	10,95	2,19	7,07	2,52	97	97,00	0,64	0,55	1,31	96	87	102	87
M Orig	14,62	14,62	1,00	16,40	26,34	22,20	14,95	6,43	4,88	8,39	0,41	100	100,00	0,74	0,54	1,51	100	100	100	100
San Agustín (Haplustol éntico)																				
A	15,33	14,62	0,95	30,30	21,39	13,82	6,45	9,50	9,76	4,09	0,00	95	95,00	0,16	0,59	1,57	95	22	109	104
AC	12,46	14,62	1,17	38,47	23,71	16,14	10,25	12,35	9,22	7,12	0,00	117	116,53	1,06	0,76	1,99	117	143	141	132
Cl M Orig	14,62	14,62	1,00	16,40	26,34	22,20	14,95	6,43	4,88	8,39	0,41	100	100,00	0,74	0,54	1,51	100	100	100	100

Ref.: Valor en peso iso Ti/Zr de constituyentes mineralógicos (columnas 5-11) y geoquímicos (columnas 14-21). (4)= columnas (3)/(2); Columnas (5-12) son el resultado de multiplicar cada constituyente de la reconstrucción mineralógica por el Índice Ti/Zr (columna 4); columna (13), suma en peso iso Ti/Zr de todos los constituyentes de cada horizonte; los contenidos geoquímicos (columnas 14-16) son el resultado de las extracciones de óxidos libres multiplicados por el Índice Ti/Zr (columna 4). Vi: vidrio volcánico; Cz: cuarzo; Plag: plagioclasa; Or: ortoclasa; Frm: minerales ferromagnesianos; Alt: alteritas; extracciones de óxidos libres: (d) con ditionito-citrato-bicarbonato, (o) con ácido oxálico + oxalato de amonio, (K): con hidróxido de potasio

(*) Se incluye en el balance mineralógico al vidrio volcánico, arcilla y alteritas

Ref.: Weight value iso Ti/Zr of mineralogical constituents (columns 5-11) and geochemicals constituents (columns 14-21). (4) = columns (3)/(2); Columns (5-12) are the result of multiplying each constituent of the mineralogical reconstruction by the Ti/Zr Index (column 4); column (13), sum in weight iso Ti/Zr of all the constituents of each horizon; the geochemical contents (columns 14-16) are the result of the extractions of free oxides multiplied by the Ti/Zr Index (column 4). Vi: volcanic glass; Cz: quartz; Plag: plagioclase; Or: orthoclase; Frm: ferromagnesian minerals; Alt: alterites; extractions of free oxides: (d) with dithionite-citrate-bicarbonate, (o) with oxalic acid + ammonium oxalate, (K): with potassium hydroxide

(**) It is included in the mineralogical balance the volcanic glass, clay and alterites.

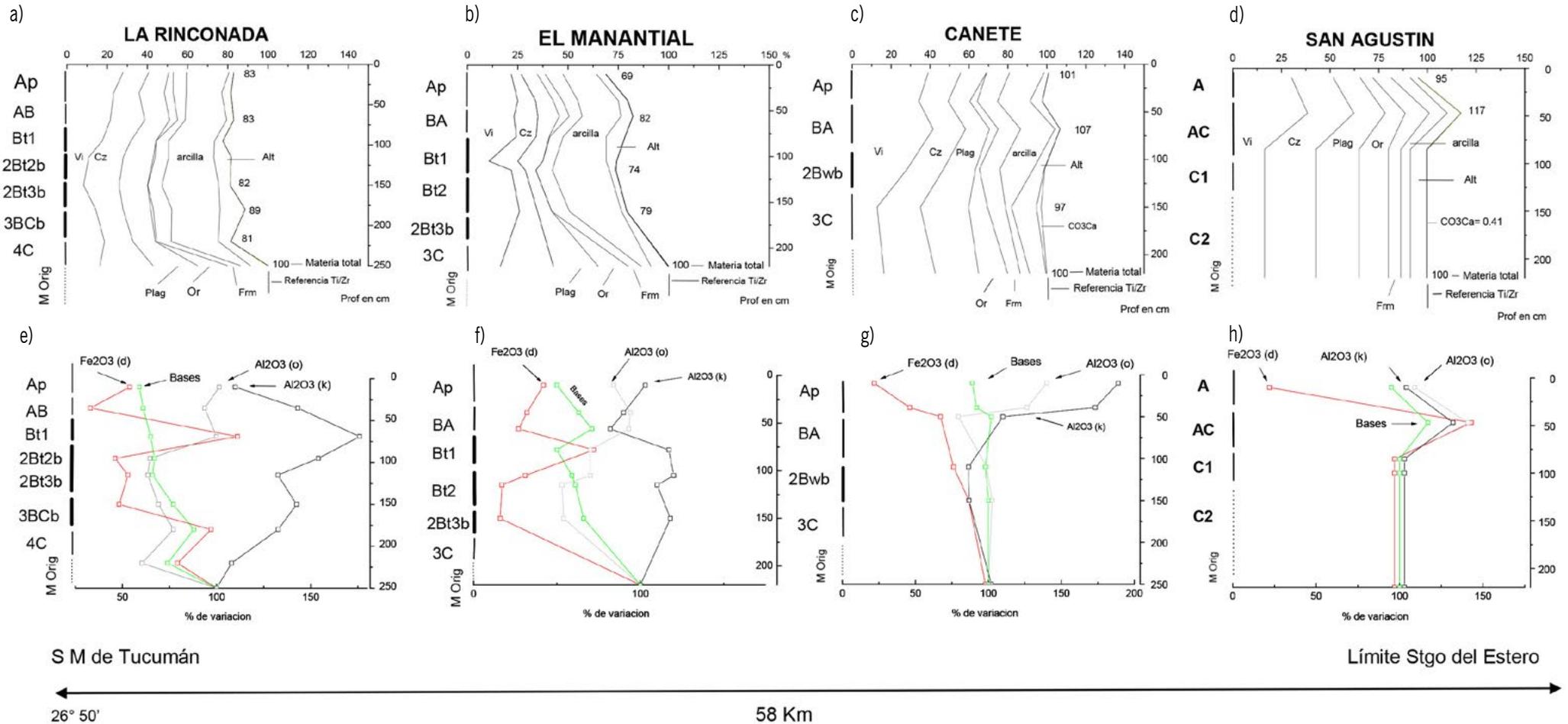


Figura 3. Balances mineralógicos [a), b), d), e)] y geoquímicos [e), f), g), h)] referidos a Ti/Zr constante. Suelos de la Llanura Chaco Pampeana de Tucumán. Región Húmeda: Suelos La Rinconada (Argiudol típico) y El Manantial (Argiudol típico); Región Semiárida: Suelos Cañete (Haplustol típico) y San Agustín (Haplustol éntico). Ref.: Vi: vidrio volcánico; Cz: cuarzo; Plag: plagioclasa; Or: ortoclasa; Frm: minerales ferromagnesianos; Alt: alteritas; M Orig: material parental. Extracción de óxidos libres: (d), con ditionito-citrato-bicarbonato; (o): con ácido oxálico y oxalato de amonio; (OH) K, con hidróxido de potasio. M Total: Materia total.

Figure 3. Mineralogical and geochemical balances [a), b), d), e)] and [e), f), g), h)] respectively referred to constant Ti / Zr. Tucumán's Chaco Pampean Plain soils. Humid Region: La Rinconada (Typic Argiudol) and El Manantial (Typic Argiudol); Semi-arid Region: Cañete (Typic Haplustol) and San Agustín (Entic Haplustol). Ref.: Vi: volcanic glass; Cz: quartz; Plag: plagioclase; Or: orthoclase; Frm: ferromagnesian minerals; Alt: alteritas; M Par: parent material. Extraction of free oxides: (d), with dithionite-citrate-bicarbonate; (o): with oxalic acid and ammonium oxalate; (OH) K, with potassium hydroxide. M Total: Total matter

- El aluminio fue extraído mediante dos reactivos: a base de ácido oxálico + oxalato de amonio (Al₂O₃ (o)), y mediante hidróxido de potasio (Al₂O₃ (k)). Ambas extracciones muestran una distribución similar, (lo que sugiere consistencia en los resultados), sin embargo, la primera presenta un carácter sustractivo, mientras que la segunda, contrariamente, aditivo:

El Al₂O₃ (o) muestra un decrecimiento desde la base de los paleosuelos hasta la base de los suelos actuales de un 35 - 45%, y aumenta en los horizontes superficiales hasta aproximadamente el 100% respecto al material parental.

- Las extracciones de Al₂O₃ (k) contrariamente, registran un continuo aumento desde la base de los paleosuelos en el rango del 20 al 40%. En los suelos actuales por su parte, el mayor aumento se observa en Bt1 de La Rinconada con un 74%, mientras que en El Manantial alcanza aproximadamente el 20% en Bt2 (**Figura 3 e, f**).

Según Wada & Harward (1974), el hidróxido de potasio realiza una disolución más completa de aluminosilicatos amorfos al disolver las frac-

ciones más condensadas. Esto explicaría las mayores extracciones logradas con este reactivo, y se encuentra en relación con el incremento de constituyentes amorfos, proveniente de la alteración del vidrio volcánico que aumenta hacia el techo de los suelos estudiados (**Figura 3 e, f**).

b) Suelos de la Región Semiárida: Cañete (Haplustol típico), San Agustín (Haplustol éntico) *Balance Mineralógico*

Se presenta en la **Tabla 3** y **Figura 3, c y d**. Puede observarse que la alteración mineral es muy limitada. En el suelo Cañete los principales minerales que aportan a la formación de arcilla en el paleosuelo (horizontes 3C-2Bwb) son los feldespatos, principalmente ortoclasa. Se advierte paralelamente un aumento de vidrio volcánico desde la base del suelo hasta su techo donde este constituyente alcanza el 40% de la materia total. Asimismo existe un brusco aumento de arcilla en 2Bwb que se mantiene constante hasta el horizonte superficial, con un tenor de alrededor del 17%. En estos horizontes la tasa de alteración

Tabla 4. Arcilla neoformada, pérdida de constituyente solubles por drenaje y tasa de alteración media calculado por el método de Lelong & Souchier (1987), (100 g de suelo a isoTi/Zr constante). Suelos de la Región Húmeda (La Rinconada y El Manantial) y Región Semiárida (Cañete y San Agustín)

Table 4. Neoformed clay, loss by drainage of soluble constituents and average alteration rate calculated by the method of Lelong & Souchier (1987). (100 g of soil at isoTi / Zr constant). Humid Region Soils (La Rinconada and El Manantial) and Semi-Arid Region soils (Cañete and San Agustín)

	Suelo La Rinconada (Argiudol típico)			Suelo El Manantial (Argiudol típico)			Suelo Cañete (Haplustol típico)			Suelo San Agustín (Haplustol éntico)	
	Material parental	Paleosuelo	Suelo actual	Material parental	Paleosuelo	Suelo actual	Material parental	Paleosuelo	Suelo actual	Material parental	Suelo actual
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	c
(1) Minerales alterables	68,8	43,1	46,5	68,8	41,5	49,7	68,8	67,09	67,2	68,8	74,2
(2) Se alteraron	-	25,7	22,2	-	27,3	19,1	-	1,8	1,5	-	-5,9
(3) Arcilla actual	-	24,5	20,5	-	27,1	18,7	-	9,7	18,0	-	9,5
(4) Arcilla original	-	4,9	4,9	-	4,9	4,9	-	4,9	4,9	-	4,9
(5) Arcilla neoformada	-	19,6	15,7	-	22,2	13,8	-	4,8	13,1	-	4,6
(6) Pérdida por drenaje	-	6,0	6,6	-	5,1	5,3	-	X	X	-	X
(7) Tasa de alteración media (TAM)	-	37,3	32,3	-	40,0	27,8	-	2,6	2,1	-	X

Ref: (X) = excluido por inconsistente

Ref: (X) = excluded by inconsistent

media es del 3% con una neoformación de arcilla del 4,8% (**Tabla 4**). En el suelo actual, por su parte (BA-Ap), se registra una tasa de alteración del 2% con un 13% de neoformación de arcilla.

El suelo San Agustín presenta un balance mineralógico similar (**Figura 3 d**), observándose claramente la preservación mineral, consecuencia de la escasa alteración de minerales primarios. En este suelo, la neoformación de arcilla alcanza el 4,6% (**Tabla 4**).

La materia total registra en ambos suelos un aumento (7% en BA de Cañete y 17% en AC de San Agustín) que no puede adjudicarse a la migración de constituyentes, que en la región semiárida es muy limitado (balance hídrico negativo - régimen ústico). En parte correspondería al aporte de vidrio volcánico, como se aprecia en las **Figuras 3 c y d**. Por esta razón, el cálculo de la pérdida por drenaje resulta inconsistente en estos suelos (**Tabla 4**)

Balance geoquímico

Se presenta en la **Tabla 3 y Figuras 3 g y h**. Puede observarse que las bases presentan casi nula movilidad: no existen condiciones para lixiviación lo que determina la acumulación de compuestos solubles, sales alcalinas y alcalinotérreas en los suelos de esta región. En estas condiciones el aumento de bases que se registra en el horizonte AB de Cañete y AC de San Agustín obedece al aporte de vidrio volcánico de composición alcalina (Zappino *et al.*, 2016) (**Tabla 5**). La liberación de estos elementos durante la alteración produciría la elevación de las bases en estos horizontes. Esto mismo explicaría el incremento de hierro y

Tabla 5. Análisis químico por microsonda de vidrio volcánico
Table 5. Microprobe Chemical analysis of volcanic glass

	Vidrio fresco *	Vidrio alterado
SiO ₂	78,20	80,26
Al ₂ O ₃	12,99	13,92
Fe ₂ O ₃	0,53	0,47
MgO	0,11	0,05
Na ₂ O	3,72	1,91
K ₂ O	3,85	2,83
CaO	0,57	0,57

* Tomado de Zappino *et al.* (2016)

* Taken from Zappino *et al.* (2016)

aluminio libres. En el caso del aluminio, el incremento de las extracciones a base de ácido oxálico + oxalato de amonio, y de hidróxido de potasio, responden al aumento de vidrio volcánico y su alteración en los horizontes superficiales de esta región.

Cálculo de la neoformación de arcilla por el método de Barshad

Paralelamente al método de balance de alteración, se utilizó el método de Barshad en el cálculo de la neoformación de arcillas con el objeto de contrastar los resultados alcanzados entre ambos y evaluar la consistencia de los mismos.

En la **Tabla 6** se muestran los valores obtenidos con ambos métodos: se observa que en La Rinconada y El Manantial de la Región Húmeda se registra la formación de arcilla más elevada tanto en los suelos actuales como en los paleosuelos. En la Región semiárida por su parte, el suelo Cañete registra la mayor formación de arcilla en

Tabla 6. Comparación de métodos utilizados en la evaluación de neoformación de arcilla (arcilla formada en 100 g de material parental)

Table 6. Comparison of methods used in the evaluation of clay neoformation (clay formed in 100 g of parent material)

		La Rinconada (Argiudol típico)	El Manantial (Argiudol típico)	Cañete (Haplustol típico)	San Agustín (Haplustol éntico)
Método de Lelong <i>et al.</i> (1987) (Balance de alteración)	Suelo actual	15,7	13,8	13,1	4,6
	Paleosuelo	19,6	22,2	4,8	-
Método de Barshad (1967)	Suelo actual	16,5	16,6	8,2	5,7
	Paleosuelo	19,0	18,4	6,2	-

el suelo actual (Ap1-Ap2-BA). En San Agustín, desarrollado íntegramente en el ciclo pedológico actual (A-AC-C1-C2) (Zappino *et al.*, 2016), presenta la menor formación de arcilla de toda la transecta estudiada. Ambos métodos guardan aceptable similitud en los resultados hecho que avala la consistencia del cálculo de la neoformación de arcilla.

Determinación de componentes amorfos

La valoración de componentes amorfos se realizó midiendo el pH en una suspensión de suelo en NaF: pH igual o superior a 9,4 indica la presencia de aluminosilicatos amorfos. La **Tabla 7** muestra los valores obtenidos: se observa que en todos los horizontes de los suelos estudiados el pH es cercano a 9 y que en 2Bt3 y 3BCb de La Rinconada es de 9,4. Estos resultados, complementarios a las extracciones de aluminio realizadas a base de (OH) K, sugieren la presencia de aluminosilicatos amorfos del tipo alofano e imogolita.

Tabla 7. pH obtenido con el método de NaF en la evaluación de componentes amorfos

Table 7. pH obtained with the NaF method in the evaluation of amorphous components

La Rinconada (Argiudol típico)								
Hzte	Ap1	Ap2	AB	Bt1	2Bt2b	2Bt3b	3BCb	4C
pH	9,2	9,0	9,2	9,2	9,0	9,4	9,4	9,2
El Manantial (Argiudol típico)								
Hzte	Ap1	Ap2	BA	Bt1	Bt2	2Bt3b	3C	
pH	8,9	9,1	9,1	9,3	9,2	8,9	8,9	
Cañete (Haplustol típico)								
Hzte	Ap1	Ap2	BA	2Bwb	3C			
pH	9,1	9,1	9,3	9,3	-			
San Agustín (Haplustol éntico)								
Hzte	A	AC	C1	C2				
pH	9,1	9,1	-	-				

Ref.: (-) no evaluado por interferencia con CO3Ca

Ref.: (-) not evaluated by interference with CO3Ca

Mineralogía de la fracción arcilla

La mineralogía es similar en todas las muestras (**Figura 4**). Está constituida fundamentalmente por illita, le siguen en orden de importancia, caolinita y minerales interestratificados de tipo illita/esmectita. No obstante, existen marca-

das diferencias, en la cristalinidad de la illita y la abundancia de minerales interestratificados entre los suelos de ambas regiones.

En los suelos La Rinconada y El Manantial de la Región Húmeda (**Figura 4, a y b**) se observan reflexiones bien definidas de la illita alrededor de los 10,05-9,47; 4,99-4,87 y 3,26-3,32 Å. La caolinita, se encuentra débilmente expresada en las reflexiones entre 7,19-6,87 y 3,58-3,56 Å. Los índices de cristalinidad de Weaver y Kubler indican en general una alteración decreciente desde los horizontes superficiales hasta la porción media de ambos perfiles (Ap-AB en La Rinconada y Ap-BA en El Manantial). Y desde allí una alteración creciente hasta la base de los mismos (AB-3BCb en La Rinconada; 2Bt3b en El Manantial). (La disminución de la cristalinidad indica aumento de alteración, cuando aumenta el índice de Weaver, disminuye la alteración; cuando aumenta el índice de Kubler, aumenta la alteración). Esta característica se encuentra en consonancia con muy débiles reflexiones de minerales interestratificados irregulares que se observan en los ángulos bajos (por ejemplo: 11,05 Å en 2Bt3 y 18,61 Å en 4C de La Rinconada; 19,91 en Ap1 y 24,11 Å en Bt1 de El Manantial). En los preparados glicolados, los minerales interestratificados no muestran una clara definición, sino un incipiente arco de reflexiones en los ángulos más bajos, apenas perceptible (por ejemplo: 24,17 Å en 2Bt3b de La Rinconada y 27,63 Å en Ap1 de El Manantial).

En los suelos Cañete y San Agustín de la Región Semiárida los difractogramas muestran similar mineralogía, pero las características minerales son diferentes (**Figura 4 c y d**). En los diagramas orientados solvatados con magnesio, las reflexiones de la illita se presentan débiles, con base ancha y pobre cristalinidad (10,12-9,86 Å).

En los ángulos más bajos, se observan reflexiones que se interpretan pertenecientes a minerales interestratificados regulares e irregulares (Illita-Esmectita), (por ejemplo, 21,01 y 12,04 Å en Ap1, 15,78 Å en 2Bwb de Cañete; 15,36 Å en C1 de San Agustín). Su interpretación, sin embargo, es difícil, porque se superponen, pequeñas reflexiones que podrían corresponder a minerales esmectíticos y al fondo de reflexiones que producen los geles y óxidos de hierro.

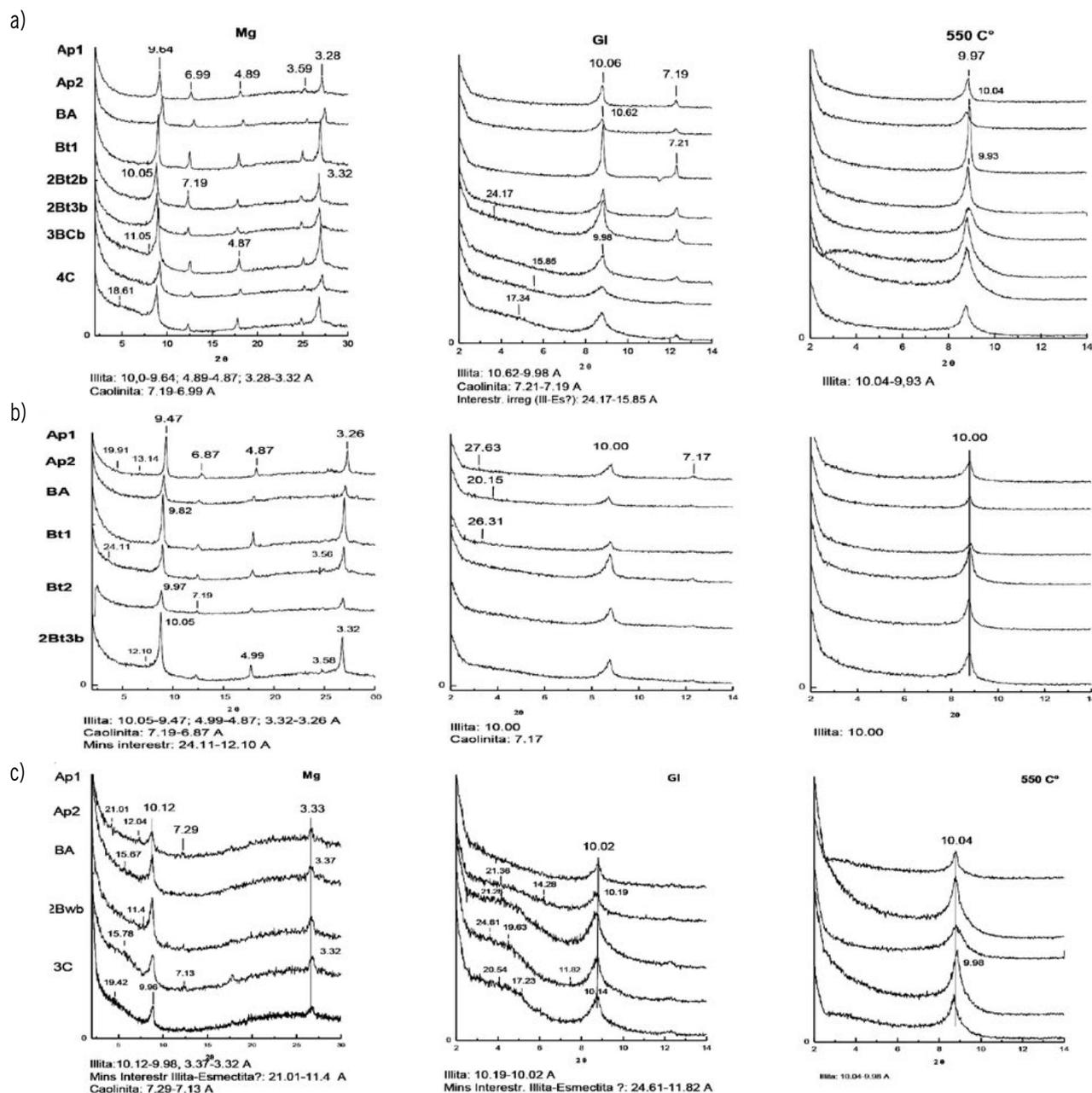


Figura 4. Difractometría de rayos X. Fracción 1 μ . I) Suelos de la Región Húmeda: a) La Rinconada (Argiudol típico); b) El Manantial (Argiudol típico). Ref.: Mg: muestras orientadas saturadas con magnesio; GI: muestras orientadas saturadas con etilenglicol; 550 C°: muestras orientadas calcinadas; Difractometría de rayos X. Fracción 1 μ . II) Suelos de la Región Semiárida: c) Cañete (Haplustol típico).

Figure 4. X-ray diffractometry. 1 μ fraction. I) Humid Region Soils a) La Rinconada (Typic Argiudol); b) El Manantial (Typic Argiudol). Ref.: Mg: oriented samples saturated with magnesium; GI: oriented samples saturated with ethylene glycol; 550 C°: calcined oriented samples; X-ray diffractometry. 1 μ fraction II) Soils of the Semi-Arid Region: c) Cañete (Typic Haplustol).

En las muestras tratadas con glicerol, disminuye la intensidad de las reflexiones de la illita, lo que revela que se trata de illita alterada. Esto va acompañado de un desplazamiento hacia ángulos menores de las pequeñas reflexiones de minerales interestratificados (por ejemplo 21,36 Å en Ap2 y 24,61 y 19,63 Å en 2Bwb de Cañete; 22,92 Å en AC y 20,94 en C1 de San Agustín).

La distribución en profundidad de los índices de cristalinidad en ambos suelos (**Tabla 8**), indica variada intensidad en la alteración de la illita. En Cañete la mayor alteración se observa en Ap1 y BA mientras que en San Agustín en el horizonte C1.

En todas las muestras, la calcinación de los preparados, produce la desaparición de mi-

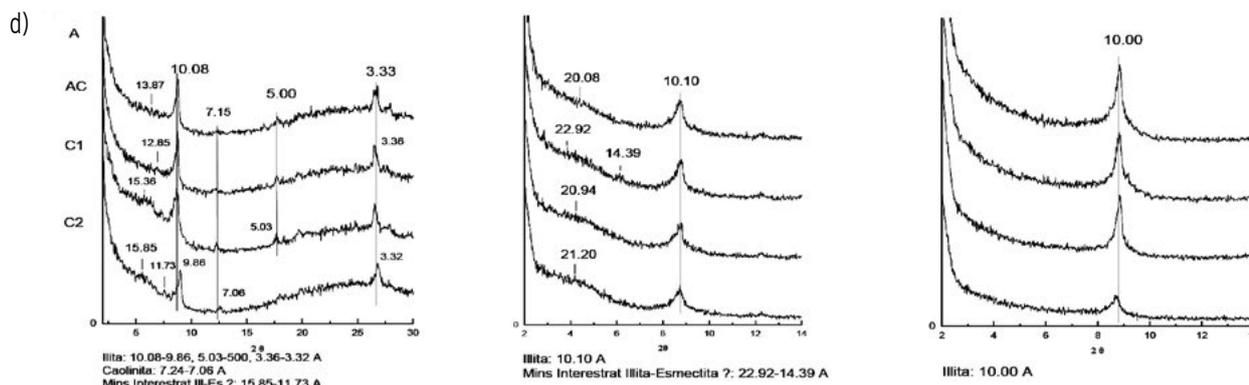


Figura 4. (continuación). d) San Agustín (Haplustol éntico) Ref.: Mg, muestras orientadas saturadas con magnesio; Gl: muestras orientadas saturadas con etilenglicol; 550 °C, muestras orientadas calcinadas

Figure 4. (continued). d) San Agustín (Entic Haplustol) Ref.: Mg, oriented samples saturated with magnesium; Gl: oriented samples saturated with ethylene glycol; 550 °C, calcined oriented sample

Tabla 8. Indices de Cristalinidad de la Illita de Weaver (1960) y Kubler (1958)

Table 8. Crystal Illity Indices by Weaver (1960) and Kubler (1958)

Hzte	Weaver	Kubler
La Rinconada (Argiudol típico)		
Ap1	2,8	6,5
Ap2	4,0	6,5
AB	4,8	2,5
Bt1	3,4	4,0
2Bt2b	3,2	7,6
2Bt3b	2,6	8,0
3BCb	2,2	12,8
4C	3,1	11,6
El Manantial (Argiudol típico)		
Ap1	3,3	7,0
Ap2	3,1	5,5
BA	4,8	5,5
Bt1	4,0	6,5
Bt2	3,7	6,5
2Bt3	3,3	7,7
3C	-	-
Cañete (Haplustol típico)		
Ap1	1,3	9,0
Ap2	2,2	9,5
BA	1,6	14,0
2Bwb	2,2	13,0
3C	3,0	10,0
San Agustín (Haplustol éntico)		
A	2,1	6,0
AC	1,2	5,6
C1	1,0	5,2
C2	3,0	6,0

Ref.: (-) no evaluado

Ref.: (-) no evaluated

nerales en los ángulos más bajos, lo mismo ocurre con la reflexión de la caolinita, confirmando en este último caso, la inexistencia de clorita.

Micromorfología

Se describen las principales características micromorfológicas de los horizontes iluviales y C de los suelos de la Región Húmeda (perfiles La Rinconada y El Manantial) y de los horizontes Bw, AC y C de la Región Semiárida (Perfiles Cañete y San Agustín) por considerarse los más significativos de acuerdo al estudio realizado.

Región Húmeda

Perfil La Rinconada

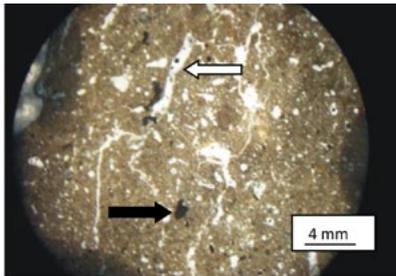
Se observa en los horizontes iluviales una **microestructura** intrapedal, en cavidades y cámaras frecuentemente bioturbada, con macroporos de 500-1000 μ promedio y extremos de 100 y 2000 μ , bordes suaves, mamelonados (**Figura 5 a**). En los **componentes minerales básicos**, se estima una relación grueso-fino (g/f) de 60/40 para los horizontes iluviales y 4C, considerando un límite de 5 m. El **material grueso inorgánico**, en orden de importancia: vitroclastos, plagioclasa cuarzo, fragmentos líticos, minerales ferromagnesianos y muscovita. **Material fino:** pardo-claro rojizo por predominio de fracción mineral y óxidos de Fe. **Componentes orgánicos.** Desde AB hasta la base del

perfil: tejido orgánico, mal conservado, pardo oscuro distribuidos al azar en la masa basal, de 100-200 μ m tamaño promedio (Figuras 5 a y 5 c). **Masa basal:** patrón de distribución relativo porfirico abierto en los horizontes texturales y 4C. Fábrica-b, punteada por la alta proporción de limo fino y moteada en amplios dominios.

Rasgos pedológicos

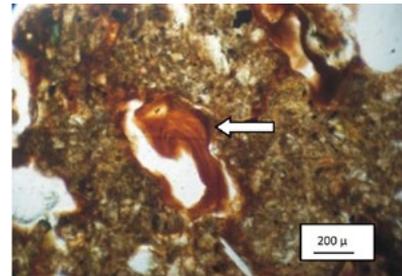
Texturales:

En suelo actual (AB-Bt1) (35-95 cm): Revestimientos simples y compuestos-yuxtapuestos fundamentalmente de arcilla impura, finos y escasos en AB, comunes en Bt1, de 50 y 100 μ m de espesor promedio. En su mayoría simples, tí-



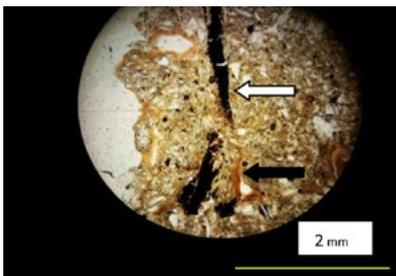
a. Horizonte 2Bt3b. Suelo La Rinconada. Microestructura bioturbada en cavidades, cámaras y canales (flecha blanca). Restos de tejido vegetal (flecha negra)

a. Horizon 2Bt3b. Bioturbated microstructure in cavities, chambers and channels (white arrow) Rests of plant tissue (black arrow)



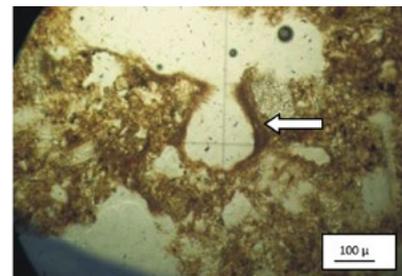
b. Horizonte 2Bt3b. Suelo La Rinconada. Revestimiento de arcilla pura microlaminado en costra (flecha).

b. 2Bt3b horizon. La Rinconada soil. Microlaminated crust of pure clay coating (arrow)



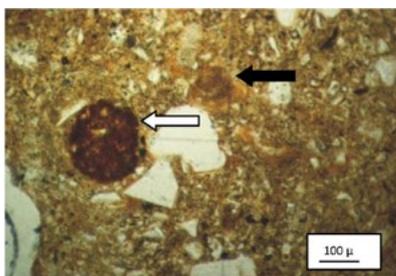
c. Horizonte 3BCb. Suelo La Rinconada. Restos vegetales dispersos en la masa basal (flecha blanca). Revestimientos de arcilla pura en canales de conducción (flecha negra)

c. 3BCb horizon. La Rinconada soil. Vegetable remains scattered in the groundmass (white arrow). Pure clay coatings in conduction channels (black arrow)



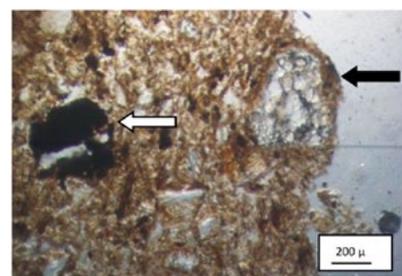
d. Horizonte Bt1. Suelo El Manantial. Revestimiento simple de arcilla impura ocupando parcialmente una cavidad (flecha)

d. Bt1 horizon. El Manantial soil. Simple coating of impure clay partially occupying a cavity (arrow)



e. Horizonte 2Bt3b. Suelo El Manantial. Nódulo de Fe/Mn típico de fábrica interna indiferenciada (flecha blanca). Fragmento de revestimiento de arcilla impura en la masa basal (flecha negra)

e. 2Bt3b horizon. El Manantial soil. Fe/Mn typical nodule with undifferentiated internal fabric (white arrow). Fragment of impure coating in the groundmass (black arrow)



f. Horizonte AC. Suelo San Agustín. Vitroclasto con corona de alteración pardo clara (flecha negra). Residuo orgánico mal conservado (flecha blanca).

e. AC horizon. San Agustín soil. Vitroclast with light brown altered crown (black arrow). Organ residue poorly conserved (white arrow)

Figura 5. Fotomicrografías de los principales rasgos micromorfológicos.

Figure 5. Photomicrographs of the main micromorphological features.

picos, escasos, crecientes y en microcorteza, en vacíos de conducción, bordes claros a difusos y escasa orientación. Acompañan, escasos hipo y cuasi revestimientos de similar composición y orientación, asociados a canales.

Fragmentos de revestimientos, frecuentes en la masa basal, de bordes difusos; escasos nódulos de fábrica arcillosos, redondeadas, escasos con fábrica interna microlaminada.

En paleosuelo (2Bt2b-2Bt3b-3BCb-4C) (95-220 cm): revestimientos de arcilla pura, frecuentes a muy abundantes, con espesores que aumentan desde 2Bt2b hacia 2Bt3b y 3BCb de 100 a 200 m promedio, respectivamente. Frecuentes revestimientos microlaminados (**Figuras 5 b**). **El horizonte 4C** muestra similares rasgos pedológicos, aunque disminuyen en frecuencia y espesor.

Amorfos y criptocristalinos:

Nódulos y halos de Fe/Mn: acompañan a los revestimientos en los horizontes iluviales y 4C, frecuentes en 2Bt2b y 2Bt3b, típicos, dispersos en la masa basal redondeados a subredondeados, bordes claros a difusos, 100 a 300 m diámetro promedio, pardo a pardo muy oscuros; en 4C alcanzan el mayor tamaño (1-2 mm); escasas segregaciones pardas muy oscuras, en 2Bt3b y 4C.

Perfil El Manantial

Microestructura desde el horizonte BA y hasta la base del perfil, se destaca una microestructura intrapedal en cavidades y cámaras, de paredes rugosas y formas irregulares, sin patrón de distribución definido. En los **componentes minerales básicos** se estima una relación grueso - fino (g/f) de 60/40, considerando un límite de 5 m.

Fracción gruesa inorgánica en orden de importancia se observa: vitroclastos, cuarzo, plagioclasa, cristaloclastos, minerales ferromagnesianos, fragmentos líticos, alteritas, feldespato K y muscovita.

Residuos orgánicos gruesos mal conservados, se presentan en todo el perfil. En los horizontes iluviales se reconocen restos orgánicos amorfos, muy escasos, de 10 a 50 m, distribuidos al azar en la masa basal, de formas tabulares e irregulares.

Material fino: pardo-claro por predominio de fracción mineral y óxidos de Fe. **La masa basal** muestra un patrón de distribución porfírico abierto. La fábrica - b, extinción punteada por la alta proporción de limo muy fino. En algunos dominios de los horizontes iluviales, se presenta uniestriada, mostrando mayor desarrollo en 2Bt3b. Hacia los horizontes Bt2 y 2Bt3b se distingue una masa basal más densa, de color más claro y con disminución del tamaño de poros.

Rasgos pedológicos

Texturales:

Se observan Revestimientos de arcilla impura simples y compuestos-yuxtapuestos: escasos en BA y Bt1, frecuentes en Bt2 y 2Bt3b, de 20 a 30 μ promedio, bordes difusos, pardos a pardo oscuros (**Figura 5 d**). Se distinguen asimismo escasos revestimientos microlaminados

Revestimiento de arcilla pura, escasos, pardos a pardo rojizos, simples, típicos y crecientes, relacionados a los vacíos de conducción, moderada a débil orientación, de 10 a 40 m espesor promedio que aumenta hacia la base, de 50 a 100 m en los horizontes estructurales. Son comunes los fragmentos de revestimientos (**Figura 5 e**)

de Fábrica:

Nódulos de fábrica (pedorrelictos), comunes, en 2Bt3b, con tamaños de 0,5 a 1 mm de diámetro promedio, redondeados, dispersos en la masa basal, sin patrón de distribución definido, compuestos por material más fino que la masa basal.

Amorfos y Crisptocristalinos:

Nódulos y halos de Fe/Mn se observan a partir de BA hasta la base del perfil. Escasos en BA, Bt1 y Bt2, frecuentes en 2Bt3b: típicos, fábrica interna indiferenciada, pardo oscuros, 100-200 m de diámetro promedio, bordes difusos a claros (**Figura 5 e**). Halos de Fe/Mn de formas irregulares a subredondeadas, de 50 a 100 m, y con distinto grado de impregnación. Se observa a grandes aumentos, escasos nódulos de Fe/Mn de 100 μ promedio con revestimientos intranodula-

res puros y finos; escasos revestimientos impuros rodean algunos de estos nódulos.

Suelos de la Región Semiárida

Perfil Cañete

En BA y 2Bwb, se observa **microestructura** (ME) en bloques subangulares débilmente desarmados de 1 - 2 mm e intrapedal en cavidades y cámaras irregulares de bordes rugosos; escasos canales de 1 - 2 mm x 20 - 30 μ promedio, de bordes rugosos, sin patrón de distribución definido. El horizonte 3C presenta ME masiva con poros de empaque simples en cavidades y cámaras de variado tamaño (50 - 100 μ y 500 - 1000 μ promedio) de similares bordes y formas. Se observa bioturbación en todos los horizontes.

Entre los **componentes minerales básicos**, se estima una relación de material grueso a fino (g/f) de 80/20, considerando un límite de 5 m. **Material grueso** predomina en orden de importancia, vitroclastos, plagioclasa, cuarzo, fragmentos líticos y cristaloclastos, escasos minerales ferromagnesianos, feldespato potásico y muscovita. Los granos minerales se presentan angulosos y con escasa alteración. Sólo los vitroclastos y cristaloclastos muestran síntomas de alteración en sus bordes, que se acentúa en 2Bwb. El **material fino** es de naturaleza inorgánica BA y 2Bwb, constituido por partículas de limo y por el producto de alteración del vidrio volcánico que predomina ampliamente en esta fracción. La alteración se observa de color pardo claro a luz paralela formando una corona de alteración alrededor de los vitroclastos.

La **masa basal**, muestra un patrón de distribución relativo porfírica en BA-2Bwb-3C. La fábrica-b se observa con extinción punteada por la elevada proporción de limo.

Entre los **rasgos pedológicos**, prevalecen los que resultan de la actividad de la fauna en todo el perfil, entre ellos se destacan:

Texturales:

Rellenos incompletos (loose infillings): de formas elongada, tubular, bordes rugosos y nítidos, frecuentes en BA y 2Bwb, de fábrica interna simi-

lar a la masa basal, comúnmente incluyen excrementos de lombrices e insectos.

Amorfos y criptocristalinos:

Halos nodulares: escasos en todo el perfil, redondeados, de 200-100 μ promedio, pardo oscuros, bordes difusos. En algunos individuos se observa morfología hexagonal por lo que se deduce perteneciente a alteración de biotitas.

Perfil San Agustín

Se observa en AC y C1 microestructura masiva, con muy abundantes microporos de empaque simples, con macro y mesoporos subordinados.

Componentes minerales básicos se estiman en una proporción grueso-fino (g/f) de 80/20, considerando un límite de 5 m. Relación que se mantiene constante en todo el perfil. **Material grueso inorgánico**: muy abundante se observa en orden de importancia vitroclastos, feldespatos, fragmentos líticos y cuarzo, escasos minerales ferromagnesianos y muy escasa muscovita. En general, se distinguen individuos angulosos a subredondeados con muy escasa alteración. En los vitroclastos, la alteración se manifiesta según una corona de alteración pardo clara (**Figura 5 f**). **Material grueso orgánico**: frecuente, de formas redondeadas, elongadas, mal conservadas, sin estructura reconocible, de 100-200 μ de tamaño promedio, pardos muy oscuros. **Masa basal**: patrón de distribución relativo porfírico y fábrica-b con extinción punteada por la alta proporción de limo fino en todo el perfil.

Rasgos pedológicos, predominan los que resultan de la actividad de la fauna. Se observan: **Rellenos incompletos (loose infillings)**: escasos, de la misma composición que la masa basal, en ocasiones con restos orgánicos de fauna (excrementos, huevos de insectos, etc), de bordes rugosos, son frecuentes en cavidades elongadas de 2-3 mm x 1 mm.

DISCUSIÓN

El balance de alteración de la Región Húmeda se caracteriza por la pérdida de materia continua y progresiva, desde la base hacia el techo de los suelos. En los paleosuelos esta pérdida se

encuentra asociada a la neoformación de arcilla y pérdida de constituyentes por drenaje. La hidrólisis de minerales primarios y material volcánico está acompañada por la disminución de cristalinidad de la illita desde la base hacia el techo de los paleosuelos. Las bases, hierro y aluminio acompañan esta pérdida: sin embargo, el aluminio extraído a base de hidróxido de potasio, muestra una característica particular: los valores aumentan de manera progresiva desde el material parental hasta los horizontes superiores de los paleosuelos. Estos valores y los valores de pH en solución con NaF (cerca de 9 y valores extremos de 9,4 en varios horizontes) sugieren la presencia de aluminosilicatos amorfos tipo alofano e imogolita (Mizota & Van Reeuwijk, 1989).

La micromorfología indica que en los paleosuelos ha habido redistribución de materia: presenta gruesos revestimientos y rellenos de arcilla y hierro en canales de conducción con moderada orientación. La fábrica birrefringente muestra moderada a fuerte organización (moteada - estriada paralela). No obstante, en el balance de alteración no se registra ganancia de material respecto a pérdida en horizontes suprayacentes. Esto sugiere una tasa variable de sedimentación con pedogénesis. La bioturbación y la presencia de restos orgánicos en varios horizontes de los paleosuelos respaldan esta hipótesis.

Los suelos actuales de esta región muestran características similares, pero de menor desarrollo: alteración de material parental, neoformación de arcilla y pérdida de constituyentes por drenaje. Presentan igualmente redistribución de materia: finos revestimientos de escasa orientación que sólo se observan en la base de los suelos. Muestran además adición de material superficial, compuesto fundamentalmente por material piroclástico.

En síntesis, en los paleosuelos predomina una pedogénesis sustractiva-redistributiva (aunque se deduce igualmente sedimentación con pedogénesis). En los suelos actuales, prevalece una pedogénesis aditiva-redistributiva. La *Illimerización* ha sido el proceso pedogenético predominante en ambos casos.

El balance de alteración de la Región Semiárida se caracteriza por la escasa alteración mineral.

No obstante, la micromorfología muestra material parcialmente hidrolizado, vitroclastos con una corona de alteración pardo clara, que explica la neoformación de arcilla que registra el balance. No existen condiciones para la lixiviación, las bases no se movilizan lo que produce la acumulación de compuestos solubles, sales alcalinas y alcalino-térreas. Las sales tendrían su origen fundamentalmente, en la alteración del vidrio volcánico, de acuerdo con el análisis por microsonda que muestra una composición alcalina. El aumento de hierro y aluminio hacia los horizontes superficiales tendría un origen similar como sugiere las extracciones a base de ácido oxálico + oxalato de amonio, y de hidróxido de potasio.

En los suelos de esta región prevalece una pedogénesis aditiva - conservativa. El proceso pedogenético predominante sería el de *Calcificación o Isohumismo* (Zuccardi, 1969a).

CONCLUSIONES

1) El análisis muestra claramente que las diferencias en la neoformación de arcillas puede atribuirse tanto en los paleosuelos como en los suelos actuales al gradiente de precipitaciones que se registra en la llanura, desde la Región Húmeda: Suelo La Rinconada (1200-1000 mm), Suelo El Manantial (1000 -800 mm), hacia la Región Semiárida: Suelo Cañete (700 - 500 mm) y Suelo San Agustín (500 mm).

2) La metodología diseñada en la reconstrucción mineral, balances de alteración y cálculo en la neoformación de arcilla ha resultado consistente a la luz de la coherencia de los resultados obtenidos, permitiendo cuantificar las transformaciones, redistribuciones, pérdidas y ganancias de materia, y deducir procesos evolutivos

AGRADECIMIENTOS

A la memoria de Guillermo Fadda y Ramón Zuccardi que orientaron 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.

Al Dr Viola, por su asesoramiento en análisis químicos y la lectura del manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

- Amba, EA; NE Smeck; GF Hall & JM Bigham, 1990. Geomorphic and pedogenic processes operative in soils of hillslope in the unglaciated region of Ohio. *J. Sci.* 90 (1): 4-12.
- Barshad, J. 1967. Chemistry of Soil Development. In: Chemistry of Soil. American Chemical Society. Mon Series 160, pp 1-70. Edited by Firman E. Bear. Reinhold Publishing Corp., New York.
- Blume, HP & U Schwertmann. 1969. Genetic Evaluation of Profile Distribution of Aluminium, Iron and Manganese Oxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 438 - 444.
- Bullock, PN; A Federoff; G Jongerius; G Stoops; Tursina T & U Babel. 1985. Handboock for Soil Thin Section Description. 1° ed., in International Society of Soil Science, Wain Research Publ., Wolverhampton. England. 152 pp.
- Buol, SA; RJ Southard; RC Graham & PA. Mc Daniel. 2003. Soil genesis and Classification. Blackwell Publ., Oxford, UK.
- Fadda, G. 1969. Una climosecuencia de suelos en la Provincia de Tucumán. Estudio Micromorfológico. V Reu Arg Ccia del Suelo. Sta Fe. Actas V-35: 311-323.
- Fields M & KW Perrot. 1966. The Nature of Allophane in Soils. Part III. Rapid field and laboratory test for Allophane. *New Zeal. J Sc.* 9, 3 pp. 623-629.
- González Bonorino, F. 1965. Mineralogía de las fases arcilla y limo del Pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Revista Asociación Geológica Argentina.* T XX, 1: 67-148
- Hashimoto, J & ML Jackson. 1960. Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration *Clays and Clay Minerals*, Prec. 7th Conf., Pergamon Press, London. pp. 102-130.
- Kilmer, VJ & LT Alexander. 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 68: 15-24.
- Kubler, B. 1968. Evaluation quantitative de metamorphisme par la cristallinité de Illite. *Etat des progués realices ces derniers annés.* Bull. Centre Rech. Pau- S N P A, 2: 385-397.
- Lelong, F & B Souchier. 1978. Theme IV. Bilan d' alteration. En "Altération des roches cristallines en milieu superficiel". Seminario. I.N.R.A. Bulletin de l' association française pour l' etude du sol (Ed). Versailles. pp. 265-301
- Lelong, F & B Souchier, 1987. Cap 1. Métodos de identificación y cuantificación de los constituyentes. En Masson (Ed). Edafología. Constituyentes y propiedades del suelo. Vol 2 París. pp. 1-15.
- Mehra, OP & Jackson, ML. 1960. Iron Oxide Removal from Soils and Clay by a Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7: 317-327.
- Meilhac, A 1970. Origine et évolution des minéraux phylliteux dans les altérations des granites en pays tempéré. Bilan minéralogique et géochimique sur deux massifs des Vosges. Thesis. University of Strasbourg. 71 pp.
- Merodio, JC & LA Spalletti. 1988. Composición normativa y clasificación de rocas pelíticas. *Revista Museo de La Plata (Nueva Serie).* T X, Geol 87: 149-170.
- Milnes, AR & RW Fitzpatrick. 1989. Titanium and Zirconium Minerals. In *Minerals in Soil Environments*, Edition 2nd, Chapter 23, Publisher: Soil Science Society of America: Madison, Editors: J.B. Dixon, S.B Weed, 1131-1205 pp.
- Mizota, C & LP van Reeuwijk. 1989. Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions. *Soil Monograph 2.* International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. 186 pp.
- Richter, DB & DH Yaalon 2011. The Changing Model of Soil Revisited. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:766-778.
- Simonson, RW. 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23:152-156.
- Smeck, NE & LP Wilding. 1980. Quantitative evaluation of pedon formation in calcareous glacial deposits in Ohio. *Geoderma* 24: 1 -16.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. USDA. Natural Resources Conservation Service. 10th ed. Washington, DC. 360 pp.
- Stoops, G. 2014. Cap 4. Análisis de contextura de la masa basal mineral y los rasgos edáficos del suelo. *En: Stoops G, Poch RM, Casamitjana M, Loaiza, JC (eds). Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementaria. 1ra edición.* Fondo Editorial Pascual Bravo. Medellín, Colombia. 383 pp.
- Stoops, G. 2014. Capítulo 5. Composición de la masa basal y de los edaforrasgos. *En: Stoops G, Poch RM, Casamitjana M, Loaiza, JC (eds). Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementaria. 1ra ed.* Fondo Editorial Pascual Bravo. Medellín, Colombia. 383 pp.
- Teruggi, ME. 1957. The nature and origin of argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology.* Vol. 27. (3): 322-332.
- Tineo, A; CM Falcón; JW García; CH D'Urso; G Galindo & GV Rodriguez. 1998. Cap. Hidrogeología. En *Geología de Tucumán.* Ed. Col Grad. Ccias Geol de Tuc. 288 pp.
- Wada, K & ME Harward. 1974. Amorphous clay constituents in soils. *Adv. Agron.* 26: 211-260.
- Weaver, GE. 1960. Possible uses of clay minerals in search for oil. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol* 44: 1505-1518. En *Clay and Clay Min.* (8 th. Nat. Conf., 1959) pp 214-227.

- Zappino, RO; Cantú M & A Becker. 2016. Material originario y suelos enterrados en la Llanura de Tucumán. *Revista Ciencia del Suelo* 34 (2): 303-322.
- Zuccardi, RB. 1969a. Procesos Pedogenéticos en la Prov de Tucumán. V Reunión Arg Ccia del Suelo. Sta Fe. Actas V-35:466-475.
- Zuccardi, RB. 1969b. Regiones Edáficas en la Prov de Tucumán. V Reunión Arg Ccia del Suelo. Sta Fe. Actas V-35:477-482.
- 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.