

Factores y procesos pedogenéticos de Alfisoles de Argentina

José A. FERRER, Fernando X. PEREYRA y Daniela VILLEGAS

*Dpto. de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
Ciudad Universitaria, Pab. II, 1428 Buenos Aires. E-mail: fpx@gl.fcen.uba.ar*

RESUMEN. Se estudia la relación entre las propiedades del Orden Alfisol y los factores de formación y se analiza la distribución geográfica de este Orden en el territorio nacional. Las propiedades consideradas fueron pH, carbono orgánico; CIC, contenido de arcilla; relaciones de arcilla de los horizontes eluviales y eluviales, textura y espesor de los horizontes y desarrollo pedogenético de los perfiles de suelos. Los Alfisoles muestran una gran variabilidad geográfica y el Suborden Aqualfs posee la mayor distribución areal. El orden Alfisol se encuentra representado en diversas regiones de la Argentina (principalmente en la Llanura Chaqueña, Llanura Pampeana, y Sierras Subandinas), ocupando una superficie de más de 225.000 km². El material original es muy variable, no obstante se nota un predominio de sedimentos aluviales y eólicos con diverso grado de retransporte fluvial. Se desarrollan principalmente en geoformas de escaso relieve, tales como planicies aluviales, niveles de terraza, márgenes de lagunas y microdepressiones en interfluvios. Predomina una vegetación de estepa respecto de las formaciones arbóreas. Los regímenes de temperatura y humedad correspondientes a la mayoría de los Alfisoles son hipertérmico y térmico, y ácuico, ústico y údico. La diversidad de los factores pedogenéticos que incidieron en su origen ha dado lugar a la formación de las numerosas variedades taxonómicas reconocidas en el ámbito de estudio. El perfil más frecuente está integrado por una sucesión de horizontes A, E, Bt, BC, C y los horizontes diagnósticos más comunes son los nátricos, argílicos, kándicos, ócricos y álbicos.

Palabras clave: *Génesis, Alfisoles, Factores de formación, Procesos pedogenéticos, Argentina*

ABSTRACT. *Pedogenetic factors and processes of Alfisols in Argentina.* The relationships existing between some specific properties of Alfisols Order soils and soil forming factors and geographic distribution were studied. Selected properties were: pH, organic carbon, CEC, clay contents, clay relations of eluvial and iluvial horizons, texture and thickness of horizons and pedogenetic development of soil profiles. Argentine Alfisols show great geographic variability and heterogeneity, with Aqualfs predominating above other Suborders. Alfisols rank fourth in areal extent in Argentina, covering more than 225.000 km². Sixty one percent of Alfisols lie within the Chaco plain morphostructural region, with 21% in the Pampean plain (21%) and 12% in the Subandean ranges. The parent materials are variable, although silty and sandy loam, fluvial and reworked acolian deposits dominate. They formed mainly on flat or gently sloping surfaces (alluvial plains, terraces, shallow depressions and lakes). Prairie vegetation prevails over forest. Moisture regimes are aquic, udic and ustic, with a few areas that are xeric. Temperature regimes are mainly thermic and hyperthermic. The most common succession of horizons is A-E-Bt-BC-C, and diagnostic horizons are natric, argillic, kandic, albic and ocric.

Key words: *Genesis, Alfisols, Pedogenetic processes, Soil forming factors*

Introducción

El Orden Alfisol incluye al más elevado nivel del sistema Taxonomía de Suelos a aquellos suelos que poseen un epipedón ócrico al que le subyace un horizonte argílico, kándico o nátrico, con moderada saturación con bases (mayor del 35%) en su complejo de intercambio (Soil Survey Staff 1996). El horizonte superficial posee generalmente escasa materia orgánica, débil estructura y relativamente alto grado de saturación del complejo de intercambio. Los cinco Subórdenes que los integran se definen en función del clima edáfico: Udalfs, Ustalfs, Xeralfs, Aqualfs y Boralfs, y los Grandes Grupos, por la presencia de otros horizontes diagnósticos (por ejemplo álbico, nátrico, etc.). El rasgo distintivo de estos suelos es una acentuada anisotropía en sus carac-

teres morfológicos y propiedades físico-químicas debido a la presencia de contrastantes zonas de eluviación e iluviación, que exhiben a menudo sus perfiles más conspicuos. Para algunos autores representan, junto a otros Órdenes tales como Ultisoles, suelos con el máximo grado de organización pedológica, en contraposición a los Entisoles (Rust 1983). Cubren un 13% de la superficie terrestre (Buol *et al.* 1989). En la Argentina alcanzan un apreciable desarrollo areal, ocupando el cuarto lugar después de los Molisoles, Entisoles y Aridisoles con un área aproximada de 225.000 km², equivalente al 8% de la superficie del territorio nacional, excluido el sector antártico.

El objetivo del trabajo es caracterizar los Alfisoles y analizar su distribución y variaciones en sus propiedades según las diferentes zonas geográficas y

factores de formación. Se reconocen también las propiedades más relevantes que de ellos resultan, en función de los factores de formación y que se plasman en diferencias a nivel taxonómico.

La elección del Orden Alfisol no ha sido azarosa. Se sustenta en su relativa importancia areal y en la homogeneidad de esta clase de suelos, toda vez que merced al neto predominio de los procesos de migración de arcillas cristalinas, el rasgo diagnóstico más importante es la presencia de un horizonte Bt argílico, o bien un Bt alcalino (nátrico), o un horizonte kándico con arcillas de baja actividad.

Este tipo de horizontes suele ser un indicador de condiciones de relativa estabilidad geomórfica durante considerables períodos de tiempo (varios cientos a miles de años), si bien en el caso de los «B» nátricos su formación suele ser más rápida en función del efecto dispersante del ion sodio.

Materiales y métodos

Se estudiaron los datos analíticos correspondientes a más de 200 perfiles pertenecientes a todos los Grandes Grupos y distribuidos en las diferentes provincias. Estos datos fueron analizados cualitativamente, obteniéndose diversas correlaciones que evidencian similitudes y diferencias entre las propiedades de los suelos. La información procede principalmente de datos inéditos, generados durante la ejecución del Atlas de Suelos facilitada gentilmente por la Unidad de Reconocimiento de Suelos (INTA). Otros datos provienen de las Cartas de Suelos de las provincias de Entre Ríos, Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, generadas por el INTA, de algunos trabajos realizados mediante convenios entre algunas provincias y el Consejo Federal de Inversiones (provincias de Formosa, Chaco, Corrientes y Neuquén) y datos propios inéditos generados por los autores.

Los cuadros y figuras fueron elaborados con datos procedentes de las fuentes aludidas precedentemente, tomando aquellos perfiles más representativos a los fines de las mismas, por lo que, a los efectos de simplificarlas y ocupar menor espacio, no se detallan en cada una de las figuras y cuadros. Los suelos fueron ordenados según regiones morfoestructurales, a fin de analizar variaciones intra y particularmente interregionales en términos de horizontes diagnósticos como reflejo de variaciones en la intensidad de los principales procesos pedogenéticos actuantes. Los criterios utilizados en la delimitación de las unidades morfoestructurales son propios de los autores; si bien existe una profusa bibliografía sobre la regionalización de la Argentina, se ha preferido generar una nueva, a los fines de la presente contribución.

Distribución y taxonomía

Se distribuyen desde el Trópico de Capricornio (22°S) hasta 52°S en Tierra del Fuego (Fig. 1), aunque la mayor parte se concentra al norte de los 36°S y al este del meridiano 64°O. Abarcan las más diversas regiones: Llanura Chaqueña, Sierras Subandinas, Llanura Pampeana húmeda, Piedemonte de la Cordillera de los Andes Patagónico-Fueguinos y sectores aislados de Patagonia Extraandina.

Se han identificado y cartografiado diversas clases de Alfisoles, integrando casi siempre Unidades Cartográficas Compuestas, principalmente Asociaciones y, en algunos paisajes con rápidas variaciones e intrincados patrones de distribución espacial, conformando Complejos. Mayoritariamente se hallan asociados a Molisoles, Inceptisoles así como Ultisoles y Vertisoles. Se han reconocido los cinco Subórdenes que

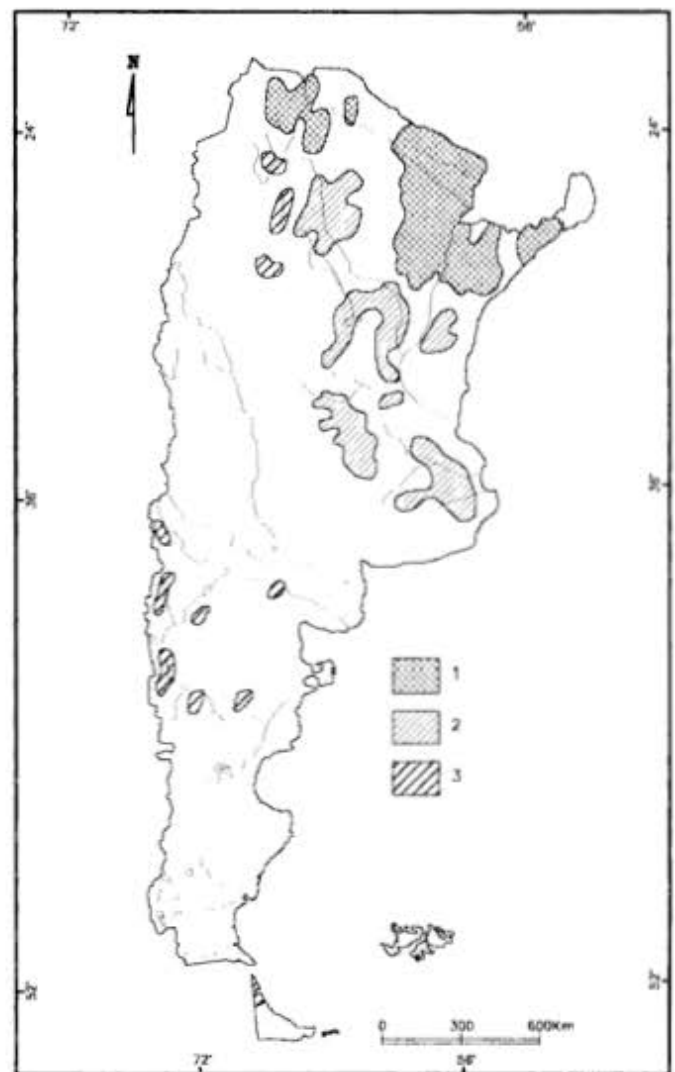


Figura 1: Distribución de los Alfisoles en la Argentina. 1, Áreas con Alfisoles dominantes; 2, Áreas con Alfisoles frecuentes; 3, Áreas con Alfisoles subordinados.

prevé el sistema taxonómico en vigencia. Asimismo se han identificado 21 Grandes Grupos y 54 Subgrupos (SEAGyP-INTA 1989). Estas variaciones taxonómicas, como es lógico, implican una heterogeneidad de factores y procesos pedogenéticos materializados por la presencia, según el caso, de diferentes horizontes diagnósticos (ótrico, álbico, argílico, nátrico, kándico, duripán, fragipán, cálcico) así como también variables condiciones de drenaje y propiedades diagnósticas específicas (lenguas y/o interdigitaciones de materiales álbicos; caracteres vérticos; potentes horizontes texturalmente gruesos, etc.).

Predominan los Acualfes, con más de 14.000.000 de ha (65% del total de la superficie cubierta por los Alfisoles en la Argentina), mientras que se han identificado alrededor de 6.000.000 de hectáreas de Alfisoles no ácuicos ni sódicos. Dicha superficie puede desagregarse en Udalfes (1.461.034 ha), Ustalfes (4.290.907 ha) y Xeralfes (219.016 ha). Los dos primeros Subórdenes, asociados preferentemente al régimen hipertérmico, se difunden en las Llanuras Chaqueña y Pampeana y Sierras Subandinas (provincias de Corrientes, Chaco, Formosa, Jujuy, Salta, Santiago del Estero y Tucumán). El Suborden Xeralfes se asocia al régimen mésico y críico, y está restringido al piedemonte de la Cordillera de los Andes Patagónico - Fueguinos, esencialmente en las provincias del Neuquén y Tierra del Fuego (Cuadro 1).

Factores pedogenéticos

Si bien se aprecia una concentración de Alfisoles en la porción norte y noreste del país, no es menos notable la dispersión geográfica en el territorio nacional, tanto en sentido meridional como latitudinal (Fig. 1), sin olvidar que simultáneamente ocupan diferentes pisos altitudinales, desde cerca del nivel del mar hasta los 2.000 metros en regiones

selváticas del noroeste. Esta repartición espacial conlleva una gran variabilidad de los factores de formación (Cuadro 1), y por ende de la naturaleza y/o intensidad de los específicos procesos pedogenéticos intervinientes.

Clima atmosférico y edáfico

Los diferentes tipos de climas atmosféricos en los que se desarrollan los Alfisoles son: Tropical con estación seca, Subtropical sin estación seca, Templado con y sin estación seca, y Frío subhúmedo en la Patagonia austral (Cuadros 2 y 3). Los valores de precipitaciones, principalmente pluviales, se hallan comprendidos entre 700 y algo más de 1400 mm anuales, salvo el caso aislado de Tierra del Fuego (400 mm) en las proximidades de la bahía San Sebastián. El intervalo de temperatura media anual abarca desde los 23°C hasta los 14°C, exceptuando el sector fueguino (6°C). Estas condiciones implican períodos de variable duración según las regiones, en los que la evapotranspiración excede al monto pluvial y por ende varios horizontes alcanzan o se aproximan al punto de marchitez permanente. Este es el régimen hídrico que se corresponde normalmente con la formación de un horizonte argílico (Smith 1965).

En el norte del país, principalmente con régimen údico-ústico (utilizando la delimitación realizada originariamente por van Wambeke y Scoppa 1976), la concordancia entre los máximos de precipitación y de temperatura aceleraría la alteración de los minerales primarios, la consecuente liberación de bases y la iluviación de arcillas (Rust 1983). A estos períodos siguen fases de desecamiento en los que se concentran los productos de alteración. De acuerdo a Smith (1965) el régimen de liberación de las bases en los Alfisoles, no suele superar la capaci-

Cuadro 1: Importancia areal de los Alfisoles según clases de drenaje, régimen hídrico y sodicidad.

CLASE NATURAL DE DRENAJE	RÉGIMEN HÍDRICO	CON HORIZONTE NÁTRICO		SIN HORIZONTE NÁTRICO*		TOTALES	
		ha	%	ha	%	ha	%
Bien drenados a imperfectamente drenados (condiciones reductoras ausentes a temporalmente moderadas)	ÚDICO	168.194 (Natrudalfes)	0,8	1.461.034	6,4	1.629.228	7
	ÚSTICO	1.766.216 (Natrustalfes)	7,8	4.290.907	19,2	6.057.123	27
	XÉRICO	23.932 (Natrixeralfes)	0,1	219.016	0,9	242.948	1
Pobrementemente a muy pobrementemente drenados (condiciones reductoras severas a muy severas muy frecuentes)	ÁCUICO	11.077.728 (Natrualfes)	49,3	3.498.177	15,5	14.575.905	65
SUPERFICIE TOTAL (en hectáreas)		13.036.070	58,0	9.469.134	42,0	22.505.204	100

*Comprende 17 Grandes Grupos.

Cuadro 2: Importancia areal de los Alfisoles según su régimen de temperatura.

RÉGIMEN DE TEMPERATURA DEL SUELO	ALFISOLES % DEL TOTAL DE ALFISOLES	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA SEGÚN REGIÓN MORFOESTRUCTURAL
Hipertérmico (t.m.a.s.: $\geq 22^{\circ}\text{C}$) *	68,00	Llanura Chaqueña Sierras Subandinas Plateaux Misionero
Térmico (t.m.a.s.: $22 - 15^{\circ}\text{C}$)*	30,64	Llanura Pampeana Sierras Subandinas (sector sur y central) Sierras Pampeanas (sector sur y central)
Mésico (t.m.a.s.: $15 - 8^{\circ}\text{C}$)*	1,16	Planicies Patagónicas extraandina y sector pedemontano de los Andes Patagónicos
Crítico (t.m.a.s.: $8 - 0^{\circ}\text{C}$)*	0,20	Planicies Patagónicas extraandina (sector austral)

*t.m.a.s.: Temperatura media anual del suelo a 50 cm de profundidad.

Cuadro 3: Principales factores de formación y Grandes Grupos de Alfisoles según Regiones Morfoestructurales.

Región morfoestructural (*)	Clima atmosférico y edáfico	Materiales originarios	Vegetación natural	Principales Grandes Grupos	% del total de Alfisoles
Plateaux Misionero	Húmedo Údico	Regolito de volcanitas básicas y materiales fluviales finos	Selva	Kandiudalfes Rodudalfes	3,9
Llanura Chaqueña	Subhúmedo húmedo, Subhúmedo seco, Semiárido Údico-Ústico	Loess, limos fluviales y sedimentos lacustres	Estepa herbácea, bosque xerófito y estepa halófila	Natracualfes Haplustalfes Natrustalfes Ocracualfes	61,0
Sierras Subandinas	Subhúmedo húmedo, Subhúmedo seco Údico-Ústico	Depósitos fluviales de rocas sedimentarias terciarias	Selva (yunga) Bosque montano	Haplustalfes Natracualfes Paleustalfes	12,0
Sierras Pampeanas	Semiárido Arido Aridico-Ústico	Depósitos aluvio-coluviales	Estepa arbustiva, xerófila y herbácea	Natracualfes	0,5
Llanura Pampeana	Subhúmedo húmedo, Subhúmedo seco Údico-Ústico	Loess y limos loessoides, depósitos marinos finos	Estepa herbácea e hidrófila-halófila	Natracualfes Ocracualfes Natrustalfes Albacualfes	21,0
Planicie Patagónica extraandina	Árido Semiárido Aridico-Xérico	Sedimentos fluviales y eólicos finos	Estepa arbustiva	Natracualfes Natriboralfes	0,3
Andes Patagónicos (sector pedemontano)	Subhúmedo húmedo Subhúmedo seco Xérico	Sedimentos aluvio-coluviales de piroclastitas terciarias y sedimentos glacialacustres	Estepa herbácea arbustiva	Haploxeralfes Palexeralfes Ocracualfes	1,3

(*)En las regiones Cordillera de los Andes Centrales, Altiplano Puneño y Planicies Occidentales no se han identificado Alfisoles.

dad o ritmo de su lixiviación, lo que explica que en el tramo inferior del argílico la saturación del complejo de intercambio no sea baja, a pesar de que la remoción por el agua de percolación y por el sistema radicular suelen ser procesos activos en esa porción del perfil del suelo.

Según puede apreciarse en el Cuadro 2, existe un

neto predominio de Alfisoles asociados a áreas en las que prevalece el régimen hipertérmico, esencialmente restringido al nor-nordeste del territorio nacional. Los regímenes hipertérmico y térmico afectan en conjunto a un 98% de los Alfisoles identificados, coincidiendo con importantes sectores caracterizados por prolongados períodos libres de helada.

das. Por el contrario son muy poco frecuentes en regímenes méxicos y crícos. Respecto al régimen de humedad de los suelos, se encuentran ampliamente representados en aquellos sectores de regímenes ácuicos y údicos, en los cuales existe el excedente hídrico necesario para permitir la descarbonatación y la argiluvación. Finalmente ocupan sectores restringidos bajo condiciones de régimen xérico (límite entre la Cordillera de los Andes Patagónicos y la Planicie Patagónica Extraandina) y ústico (sectores de Sierras Pampeanas), en los que situaciones locales de relieve permiten compensar el exiguo excedente hídrico. De todas formas, si se exceptúan sectores de la Llanura Chaqueña, Sierras Subandinas y Plateau Misionero, predominan en zonas de régimen ácuico, o sea se han formado bajo severas condiciones reductoras.

Vegetación

Acorde con las variaciones climáticas, los Alfisoles sustentan diferentes formaciones y tipos vegetales, ya sea selva, bosque, sabanas y estepas herbáceo-arbustivas. Considerando las provincias fitogeográficas reconocidas por Cabrera (1976), los Alfisoles son suelos dominantes en la provincia Chaqueña, y en menor medida, en las del Espinal y Pampeana.

En general, si se consideran todos los Alfisoles, es más frecuente la vegetación de estepa respecto de las formaciones arbóreas. Dado el predominio de Alfisoles sódicos y sódico-salinos con régimen ácuico, existen vastas áreas, por ejemplo Pampa Deprimida y Bajos Submeridionales (Provincia Pampeana), en los que la vegetación especializada es hidro-halófila. Por otro lado, Vesco (1985) señala para la provincia de Entre Ríos una estrecha correspondencia entre Alfisoles y quebracho blanco, así como monte de tuna, palma y chañar. Este autor cita la presencia de grandes hormigueros que dan lugar a un típico microrrelieve. En el sector occidental de la Provincia Chaqueña, Provincia de las Yungas y en la Provincia Paranaense, se han desarrollado bajo una vegetación arbórea.

Respecto al uso de la tierra, en vastos sectores de la Llanura Chaqueña y en la Llanura Pampeana, prevalecen actividades de ganadería extensiva con vegetación natural y en menor medida con pasturas implantadas adaptables a las condiciones de hidro-halomorfismo. Mucho más reducida es la superficie de Alfisoles afectada por cultivos agrícolas. Así, por ejemplo, en Salta y Jujuy se cultiva tabaco, como también cultivos hortícolas al pie de las Sierras Subandinas (Haplustalfes údicos). En Santa Fe una fracción de los Albacualfes típicos se destinan al algodón, sorgo y caña de azúcar. En Corrientes y Misiones (extremo nordeste de la Llanura Chaqueña y

el Plateau Misionero) los Kandiodalfes ródicos en parte producen yerba mate y té, incluso cultivos anuales (soja, maíz), así como plantaciones de pinos y eucaliptos. En Corrientes, parte de Albacualfes, Glosacualfes y Ocracualfes están destinados al cultivo del arroz.

Relieve

Desde el punto de vista geomorfológico, si bien se encuentran ampliamente representados predominan en las regiones morfoestructurales de la Llanura Chaqueña y la Llanura Pampeana (Fig. 2). La Llanura Chaqueña es una extensa planicie poligenética

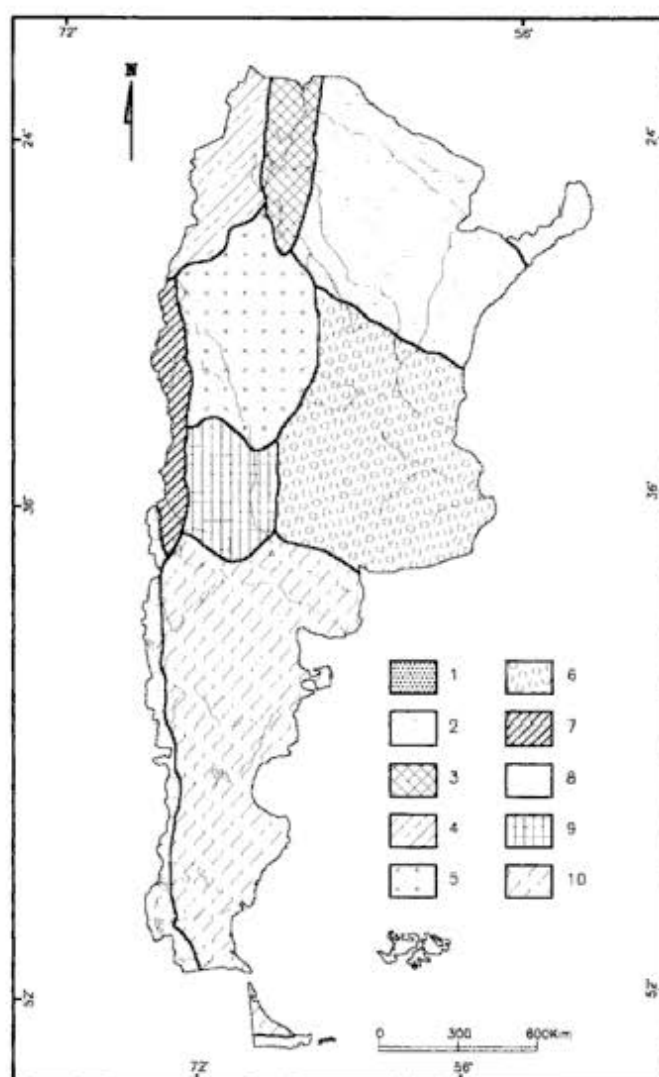


Figura 2: Grandes Unidades Morfoestructurales. 1, Plateau Misionero; 2, Llanura Chaqueña; 3, Sierras Subandinas; 4, Puna; 5, Sierras Pampeanas; 6, Llanura Pampeana; 7, Alta Cordillera; 8, Cordillera de los Andes Patagónicos; 9, Planicies Medanosas Occidentales y 10, Planicie Patagónica Extraandina.

debida principalmente al accionar fluvial. Como respuesta a los diferentes pulsos de ascenso tectónico de la Cordillera de los Andes se formaron extensos abanicos aluviales, con bajas pendientes hacia el este, los que al coalescer conformaron diferentes niveles de agradación pedemontana (ríos Pilcomayo, Bermejo y Dulce). Asimismo, el proceso eólico ha sido importante durante períodos más secos. En esta gran unidad de paisaje, los Alfisoles pueden llegar a ser los suelos dominantes en importantes sectores. La Llanura Pampeana, si bien posee morfológicamente un relieve similar a la anterior, se caracteriza por tener menor relieve relativo y un marcado predominio de la agradación loésica como principal proceso construccional a lo largo del Cenozoico tardío. En el sector de la denominada Pampa Deprimida, al sur de Buenos Aires, un muy bajo relieve relativo debido a la interacción de la depositación de loess y las intrusiones marinas cuaternarias ha resultado en la presencia de grandes extensiones de terreno anegable, en los cuales son frecuentes los Alfisoles de régimen ácuico.

En la unidad morfoestructural Sierras Subandinas, en los sectores de menor pendiente y en superficies más estables, los Alfisoles pueden ser importantes. Finalmente ocupan sectores restringidos de las unidades morfoestructurales Sierras Pampeanas, Cordillera de los Andes Patagónicos y Planicie Patagónica Extraandina.

Los Alfisoles aparecen en diferentes geoformas. Así, se han desarrollado en planicies aluviales, niveles de terrazas, llanuras aluviales, márgenes de lagunas, cubetas de deflación, microdepressiones en interfluvios y en paleocauces, así como en planicies basálticas. Muchas de estas geoformas generan condiciones de drenaje restringido. En menor medida se distribuyen en lomas «cupuliformes» (Llanura Chaqueña oriental) y en sectores serranos (Sierras Subandinas). En los sectores con ausencia de desniveles acusados, el nivel freático se halla cercano a la superficie y/o se favorece la formación de una capa de agua temporaria que afecta a buena parte del solum (Llanuras Chaqueña y Pampeana).

Las geoformas son principalmente holocenas y en menor medida del Pleistoceno superior. Sin embargo puede inferirse, si se comparten los criterios discutidos por Smith (1965), que la mayoría de las geoformas habrían tenido importantes períodos de estabilidad como para que la translocación y acumulación de arcillas iluviadas, que dan lugar a la formación del argílico, hayan superado los lapsos en los que hubieran ocurrido eventos de truncamiento o erosión (períodos de inestabilidad geomórfica o morfogénesis). En situaciones muy restringidas, como por ejemplo en el caso de los Glosacualfes aéricos correntinos, exhiben un patrón de erosión reticular muy conspicuo, denominado localmente «malezal».

Material parental

Respecto al factor material originario su variabilidad es apreciable, si bien prevalecen arealmente los sedimentos aluviales, y eólicos con variado grado de retransporte fluvial. Considerando que el 81% de la superficie ocupada por Alfisoles se corresponde con las Llanuras Chaqueña y Pampeana, puede afirmarse que la mayoría de esos suelos se han desarrollado principalmente a partir de sedimentos loésicos de acuerdo a Teruggi (1957). Según Morrás (1995) la fracción fina de los limos en un sector de la Llanura Chaqueña, en suelos Natracuales y Natracualfes posee más cuarzo y menor contenido en feldespatos y vidrio volcánico que los suelos de la región Llanura Pampeana. Dicho autor atribuye esas diferencias a posibles causas sedimentológicas.

En sectores muy aislados el material originario es de naturaleza lacustre (Llanura Chaqueña y Llanura Pampeana). En los sectores pedemontanos de las Sierras Subandinas, y en menor medida de Sierras Pampeanas, han participado materiales aluvio-coluviales. También cabe destacar sedimentos de albuferas litorales y canales de marea (Pampa Deprimida). *Drift* glacial estratificado (varves) constituye el material originario, o bien el sustrato de Alfisoles en las estribaciones de la Cordillera Andino-Patagónica, al menos en el meridiano que une El Bolsón (Río Negro) y Las Golondrinas (Chubut). Estos suelos con vegetación herbácea-arbustiva se desarrollan al este de los Andosoles con bosque de *Nothofagus*. Otro caso en que los depósitos glaciales habrían intervenido en alguna medida en la génesis de Alfisoles, son los desarrollados en proximidades de la bahía de San Sebastián (Tierra del Fuego) en una planicie costera con sustrato de varves, así como en la planicie contigua al lago Rosario (Chubut). En el extremo noreste del país (Plateau Misionero) los Rodudalfes poseen en la base del solum fragmentos basálticos, si bien no se dispone de elementos de juicio para adjudicarles el carácter de «suelos residuales».

En general prevalece una composición granométrica propia de texturas medias: franco, franco arcillosa, franco limosa, y franco arcillo-limosa. En algunos sectores dominan las texturas medianamente gruesas (franco arenosas en Corrientes). Los extremos texturales son muy poco frecuentes. Mayoritariamente los materiales originarios parecen tener una apreciable reserva en minerales meteorizables, ricos en bases, una condición importante para el origen y evolución de los Alfisoles. Vargas Gil *et al.* (1972) al estudiar una transecta al norte de la bahía de Samborombón (provincia de Buenos Aires) y cuando se refieren a un Natracualfe típico, concluyen que el horizonte A se habría desarrollado en un sedimento eólico que sobreyace a horizontes iluviales (2Bt y 2Bck) generados a partir de arcillas pertenecientes a una transgresión marina de edad «platense». Por

debajo se halla el solum de un suelo desarrollado en sedimentos eólicos (*loess-like*). Esta situación es frecuente en el sector «Pampa Deprimida» de la Llanura Pampeana y representa a los Alfisoles y Molisoles desarrollados a partir de diferentes sedimentos edafizados bajo distintas condiciones geomórficas y bioclimáticas. Se trataría de suelos «polifásicos» según Tricart (1973) ó «poligenéticos» de acuerdo al concepto de Duchaufour (1984).

Principales procesos pedogenéticos y horizontes diagnósticos

El perfil más frecuente se halla constituido por una secuencia A, E, Bt, BC, C, si bien en muchos casos exhiben una mayor transición entre el horizonte superficial y el Bt a través de la presencia de horizontes EyB y ByE; en ocasiones al horizonte superficial le subyace directamente el Bt. En términos de horizontes diagnósticos la secuencia más frecuente es un ócrico sobreyaciendo a un argílico o bien a un nátrico.

Horizontes ócricos, umbricos y álbicos

Rust (1983) ha enfatizado que el rasgo macromorfológico distintivo es la coloración clara del horizonte superficial. Dado el amplio espectro de las condiciones bioclimáticas y de drenaje de los Alfisoles argentinos, aquella característica no siempre es así, siendo tan variable como el amplio rango de materia orgánica que poseen (valores mínimos de 0,5% hasta próximos al 10%). Los horizontes superficiales son de escaso espesor y generalmente poseen bajos contenidos en materia orgánica con mínimos del 1% y máximos del 16%; este último corresponde a los Alfisoles más australes (Tierra del Fuego) donde las bajas temperaturas posibilitan la acumulación y preservación de la materia orgánica. En estos casos el horizonte A1 queda descartado como horizonte mólico por el color en seco y/o por el escaso espesor, más que por el contenido mínimo (1%) de materia orgánica exigido por Taxonomía de suelos y por lo tanto son clasificados como horizontes ócricos. Tenores comprendidos entre el 5% y el 8% se asocian preferentemente, a sectores de bosque en la Provincia de las Yungas y oeste de la Chaqueña y Paranaense, donde pueden diferenciarse epipedones con elevados contenidos de materia orgánica y francamente desaturados (húmbricos).

En general el contenido de materia orgánica se halla en relación inversa con los valores de las lluvias. Esto podría justificarse porque con la mayor oferta pluvial coinciden los más elevados valores de

temperatura, los cuales aceleran los procesos de mineralización de la materia orgánica, en contraposición a los procesos de acumulación. Los más bajos tenores se asocian a suelos cultivados. En otros casos, los bajos valores de materia orgánica en el horizonte superior, se relacionan con regímenes ácuicos y condiciones sódicas, que favorecen la presencia de especies vegetales higróhalófitas. En ambientes alcalinos los horizontes superficiales pueden hallarse manifiestamente decolorados («barros blancos») y concurrentemente con revestimientos muy oscuros (humatos sódicos) en las caras de los agregados del horizonte subsuperficial iluvial (Bt nátrico).

Respecto de la naturaleza de la materia orgánica, sólo se dispone de la contribución de Taboada *et al.* (1987) en Natracualfes típicos de la cuenca del río Samborombón (Llanura Pampeana), quienes concluyen que esos suelos se caracterizan por tener compuestos orgánicos poco polimerizados. Esta situación, a juicio de esos autores, genera una importante pérdida de substancias húmicas a través de las aguas de escorrentía e inundación. En la figura 3a se indican las variaciones de la materia orgánica en relación a la profundidad, para Alfisoles de la porción norte del país. También es inversa la relación entre el pH del horizonte superficial y las lluvias; los valores más bajos (4,3) corresponden a suelos de zonas con mayores precipitaciones, donde el lavado de bases alcanza mayor intensidad (en Corrientes, con más de 1400 mm anuales). Los valores más altos (superiores a 9) se encuentran en los horizontes nátricos.

Las pérdidas de arcilla se manifiestan por un horizonte E de muy variable espesor, según los casos, pudiendo alcanzar valores de hasta 25 cm o más. En muchos Alfisoles el proceso de eluviación es tan severo que parcial o totalmente los horizontes «E»; «E y B», «B» y «E» reúnen los requisitos de un horizonte álbico. La existencia de un horizonte E, y particularmente de aquellos que reúnen las características de álbicos, alcanza una amplia distribución, no restringiéndose a ninguna región en particular, si bien son más frecuentes y más potentes en las zonas con mayor excedente hídrico: centro-este de la Llanura Chaqueña, Sierras Subandinas y Plateau Misionero. La textura más frecuente del E, es franco limosa, y en menor medida, franco y franco arenosa. En general no difiere texturalmente de los A, pero sí de los Bt subyacentes. Además del señalado factor climático, su presencia parece relacionada a condiciones particulares de relieve (que facilitan un mayor grado de eluviación) y probablemente a mayores períodos de tiempo para el accionar de los diferentes procesos pedogenéticos relacionados. En tal sentido Piñeyro y Panigatti (1972), en un sector de la Llanura Pampeana, atribuyen al microclima generado por el relieve de escaso desnivel la presencia de horizontes E en Molisoles y en Alfisoles.

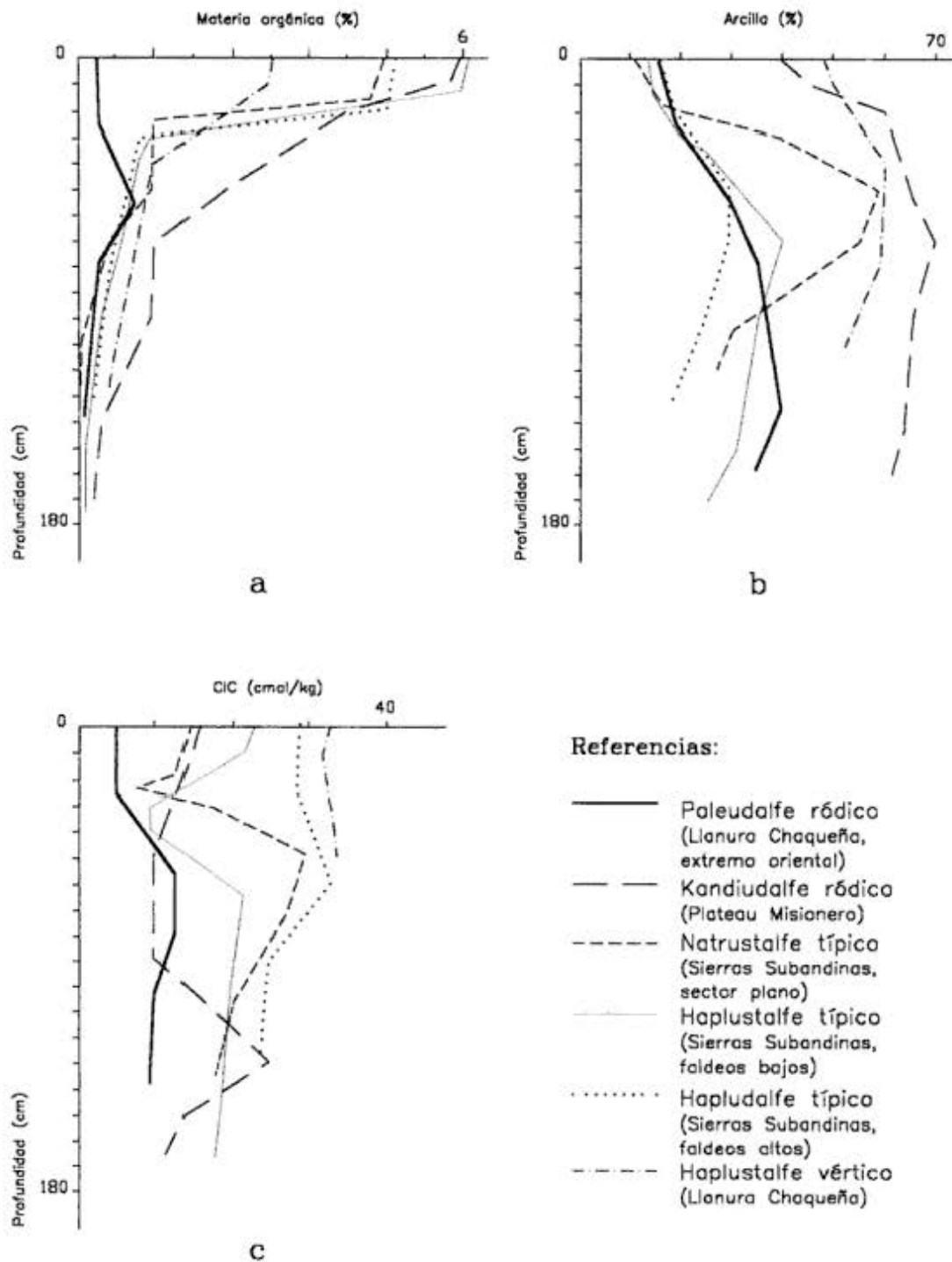


Figura 3: Función profundidad de: a, materia orgánica, b, arcilla y c, CIC, para diferentes Subgrupos de Alfisoles.

La expresión morfológica de ese horizonte eluvial se incrementa desde el borde de las depresiones hacia su porción central más profunda. El horizonte E representa el 7% del espesor total de los horizontes eluviales en el borde de las depresiones, mientras que en la zona más profunda equivale al 62%. Dichos autores afirman que el proceso genético del horizonte E se debe posiblemente a procesos de meteorización química ya que el frecuente anegamiento

generaría condiciones reductoras, lo que habría favorecido la lixiviación del Fe^{3+} como catión ferroso así como la migración de la materia orgánica. Datos de laboratorio confirman la pérdida de Fe del horizonte E y su incremento en la porción iluvial.

Según los mismos autores el horizonte E posee un bajo índice de percolación, siete veces menor tanto para el horizonte A1 como para el Bt, lo que genera una severa limitación para la infiltración y para el

desarrollo radicular. Este horizonte posee una elevada resistencia mecánica debida a su gran compactación ya sea por carecer de estructura o por ser laminar. Al cambio textural abrupto entre el E y el Bt se le suma una marcada anisotropía estructural, de masiva a bloques o bien prismática, lo que favorece la acumulación temporaria de agua entre los horizontes eluviales y el iluvial subyacente.

La intensa decoloración del horizonte E de algunos Acualfes resalta la presencia de nódulos y concreciones ferromangáníferas. Valencia e Imbellone (1971) al estudiar un Albacualfe típico, perteneciente a una catena en la Pampa Deprimida, hallan una estrecha correlación entre el color de las formaciones ferromangáníferas y su naturaleza química. Dichos autores señalan que las de color rojizo poseen un tenor en Fe_2O_3 superior a las de tonalidad oscura (27,8% versus 13,5%); por el contrario cuando analizan el contenido en MnO su participación se invierte (1,8% y 7,7%). De acuerdo a estos mismos autores, las formaciones férricas prevalecen en la porción superior y media del perfil, mientras que en el tramo inferior predominan las ricas en manganeso. Stephan y De Petre (1973), citados por Morrás (1985), hallan en una catena de Santa Fe que desde el Argiudol hacia el Albacualfes, las concentraciones de hierro y manganeso se incrementan.

Otra situación que suele ser frecuente, es la presencia de interdigitaciones o bien «lenguas» de materiales álbicos asociados en diferentes proporciones, con el horizonte argílico (Glosacualfes), lo cual indica procesos de degradación de horizonte iluvial. Panigatti (1980) al estudiar en el norte de Santa Fe (Región Chaqueña) la degradación de horizontes argílicos, destaca la ausencia de argilanes y la presencia de esqueletanos en las caras de los agregados de horizontes «E» y «B y E» como signos de destrucción. Simultáneamente reconoce que los argilanes perduran en el núcleo de los agregados de esos horizontes, rasgo que sugiere que la formación de ambos se habría producido a partir del tramo superior del argílico. Morrás (1983) reconoce argilanes degradados en horizontes E de Planosoles sódicos (¿Natracualfes típicos?) en los cuales la degradación, manifestada en microfisuras y cavidades, la atribuye a una traslocación de arcilla más que a una alteración química.

Muchos Alfisoles del territorio nacional exhiben un solum totalmente descarboxilado, siendo frecuente que el carbonato de calcio en concreciones o distribuido en la masa, se halle entre 80 y 100 cm, superando apreciablemente este último valor en condiciones de buen drenaje y balance hídrico positivo. En algunos, el CaCO_3 se halla en el horizonte Bt sugiriendo procesos de recarbonatación posteriores a la argiluvación.

Vinculados a condiciones de mal drenaje se reconocen Alfisoles con abundante plintita, en la base

del solum. Tal situación es más frecuente en la Provincia de Corrientes y en la zona del Plateaux Misionero, pudiendo estar también relacionada con la presencia de materiales originarios rico en Fe^{3+} , entre ellos material regolítico de los basaltos de la región.

Horizontes argílicos, nátricos y kándicos

Subyaciendo a la porción eluvial se distingue la zona o fracción del perfil con signos casi siempre fácilmente reconocibles del proceso de iluviación de arcillas, generalmente resultante en la formación de horizontes argílicos. Considerando los casos de horizontes A con un rango de arcilla comprendido entre 15% y 40%, el cociente: % arcilla B / % arcilla A presenta un valor promedio de 1,70; con mínimos de 1,21 y máximos que superan holgadamente un valor de 2. Si se comparan los valores de precipitaciones con el cociente de arcillas, surge una relación directa entre ambos parámetros. Los índices más elevados parecen hallarse preferentemente en vastos sectores de la Llanura Chaqueña. Paralelamente, para zonas de igual precipitación, los índices de menor valor, se asocian a suelos de texturas más finas (Ferrer y Pereyra 1993).

En la figura 3b, se observa la función profundidad del contenido de arcillas para algunos suelos seleccionados. El mismo, para los horizontes argílicos, varía entre el 20% y 70%, con los valores mayores en la región norte, con un régimen de humedad údico. Al analizar el espesor total de la porción iluvial, surge que los horizontes argílicos de mayor espesor se han desarrollado a partir de materiales originarios de texturas no extremas, esencialmente franco limosas. A su vez los mayores espesores parecen coincidir con zonas de mayores precipitaciones.

Otra propiedad diagnóstica común es la presencia de un «cambio textural abrupto», es decir que el contenido de arcillas se duplica entre un horizonte eluvial y el contiguo iluvial, dentro de una distancia vertical inferior a los 7,5 centímetros. Esta situación tiene lugar con o sin horizonte E, aunque ésta última parece ser la más frecuente. Dicha característica típica a los Albacualfes. Cuando el horizonte órico o el álbico poseen 20% o más de arcilla se requiere un incremento del 20% o más en términos absolutos para ser considerado «cambio textural abrupto». No puede descartarse que algunos «cambios texturales abruptos» sean consecuencia de una discontinuidad litológica y no de la migración de arcillas, o en todo caso de la concurrencia de ambos procesos. Estos cambios contrastantes suelen estar asociados a capas de agua temporaria o «colgadas» que según Rust (1983) establecen una definida porción del suelo con intensa meteorización física y química. Wilding y Rehage (1993) advierten que el contraste

textural de suelos con régimen ácuico entre el horizonte superficial y el subsuelo (Bt) ha sido atribuido probablemente de manera sobreestimada al proceso de translocación de arcillas. Según estos autores en muchos casos podrían intervenir otros procesos tales como ferrólisis, meteorización *in situ* de minerales primarios, neoformación de arcillas, así como discontinuidades litológicas.

Los valores de la CIC, varían ampliamente alrededor de 30 cmol/Kg, para el horizonte argílico, con valores menores en aquellos suelos ubicados en zonas con mayores precipitaciones y más elevadas temperaturas. En algunos casos, como por ejemplo en zonas de las Sierras Subandinas, Llanura Chaqueña y Plateau Misionero, el hecho de que los menores valores de CIC coincidan con los máximos tenores de arcillas, sugiere cambios mineralógicos de esa fracción. Puede adjudicarse al factor temperatura (régimen térmico a hipertérmico) la responsabilidad de una más severa meteorización. La variación de la CIC con la profundidad se ejemplifica en la Fig. 3c.

La mayoría posee saturación con bases superior al 60%; los menos saturados se ubican en las zonas de mayores precipitaciones y asociados a vegetación de mayor porte (provincias fitogeográficas de las Yungas, Chaqueña y Paranaense). Por otro lado, los suelos en regiones más templadas (Llanura Pampeana) muestran porcentajes mayores de saturación.

Un caso particular de horizontes Bt está integrado por aquellos en los que el sodio intercambiable supera el 15% del valor de la CIC (horizonte nátrico). Las 3/4 partes de los Acualfes son sódicos, es decir que sus perfiles poseen importantes tenores del ion sodio al estado intercambiable, afectando cuando menos al horizonte Bt (nátrico en estos casos), en el que su participación varía entre el 20% y 60% de la CIC. Sin embargo no son los únicos Alfisoles afectados por el ion sodio, ya que si se agregan a los Natracualfes, los Natrudalfes, los Natrustalfes y Natriboralfes afectan en conjunto una superficie de 13.000.000 de hectáreas, equivalente al 58% del total del área cubierta por los Alfisoles. Estos Alfisoles sódicos cubren importantes áreas, principalmente en las Unidades Morfoestructurales Llanura Pampeana y Llanura Chaqueña.

De acuerdo a Tricart (1973), la Pampa Deprimida, localizada dentro de la Llanura Pampeana, es una de las pocas zonas húmedas del mundo cuyos suelos poseen altos contenidos de sodio. Esta subregión alcanza casi 100.000 km², predominando los Natracuales, mientras que los Natracualfes alcanzan 10.000 km². Según este autor, la alta sodicidad de todos los suelos alcalinos de esta zona es heredada del material orgánico, correspondiente a sedimentos finos debidos a la última ingesión marina importante, localizada en el Holoceno medio y a la alteración de los materiales cineríticos componentes del

loess pampeano. Se suma a este aspecto el hecho de que los fuertes vientos procedentes del cercano litoral marino han provocado la generalizada depositación de polvo salado que ha aumentado el contenido de sales en los suelos.

El excedente hídrico debido al actual clima húmedo habría alcanzado para eliminar las sales, no así los álcalis. Asimismo, el muy lento escurrimiento debido al bajo relieve relativo y las texturas finas de los materiales aflorantes obstaculizaría el lavado de los suelos, favoreciendo la concentración de iones alcalinos. En consecuencia, según Tricart (1973) los suelos de la esta región están en desequilibrio con el clima actual, perdurando sólo por causas geomorfológicas. El escaso relieve relativo es responsable de la lenta evacuación de los excedentes hídricos. La red de drenaje, parcialmente endorreica y arreica en una región húmeda, le confiere a la Pampa Deprimida el carácter de excepcional en el mundo, tanto en lo referente a su dinámica morfogenética como en el predominio de suelos sódicos, salino-sódicos y aún salinos. La participación del ion sodio al estado intercambiable varía entre 20% y 70% del valor total de la CIC, siendo frecuente que supere valores de pH 8,5. Al menos para los Natracualfes de la Pampa Deprimida, la fuente de provisión sódica habría sido ocasionada por ascenso de la capa freática, ya que de acuerdo a Lavado (1983), la precipitación pluvial no aportaría sales en tenores significativos, según los datos de composición química del agua. De esta manera se descartaría la contaminación vía aerosoles marinos.

En líneas generales son no salinos, salvo en sectores restringidos. Lavado *et al.* (1991) al analizar Natracualfes típicos de la Pampa Deprimida concluyen que el proceso de salinización de los horizontes superficiales puede adjudicarse al sobrepastoreo. Según esos autores cuando disminuye la cobertura vegetal se producen ascensos salinos mediante convección a partir de un nivel freático cercano a la superficie. En otros casos a ese proceso se agregaría el de la difusión en el horizonte B2t. De acuerdo a esa contribución el proceso de salinización habría comenzado con la introducción del ganado vacuno.

En Natracualfes bonaerenses (Llanura Pampeana) Imbellone (1980) identifica netas variaciones del plasma y el esqueleto, con predominio de éste en la porción eluvial del perfil, mientras que en la iluvial prevalece el plasma, equilibrándose ambos caracteres en la base del solum. La presencia de «ferriargilanes» confirma la movilización de coloides según esa autora, quien destaca que los cutanes se hallan mejor expresados en el horizonte de transición B3 (BC) en comparación a los del Bt, donde habrían sido destruidos por los intensos cambios de humedad y, por ende, de volumen de los materiales presumiblemente integrados por arcillas expandibles. Imbellone (1980) corrobora la anisotropía de los

agregados columnares ya que exhiben una distribución periférica (en sus cabezas y caras) de macrocavidades, así como una densificación y reorganización del plasma en el núcleo y porción inferior de las columnas. Esta heterogeneidad, dispuesta en sentido concéntrico u horizontal (desde la cara externa hacia el centro de las columnas) como también desde su techo hacia su base, confirma la progresiva degradación de los horizontes iluviales en beneficio del crecimiento de porciones eluviadas, ya sea horizontes ByE, EyB o E.

Al estudiar la Serie Manantiales, en el nordeste de la provincia de Buenos Aires (Llanura Pampeana), perteneciente al Subgrupo Natracualfe mólico, Iñiguez y Scoppa (1971) hallan que la illita es muy abundante en los horizontes eluviales, disminuye levemente en el Bt y vuelve a incrementarse en el B3 (BC). La montmorillonita si bien subordinada, tiene una distribución inversa, es decir, aumenta en los iluviales y disminuye hacia los horizontes BC y C. La función profundidad de la montmorillonita en estos suelos sódicos difiere respecto de la correspondiente a suelos «zonales» Argiudoles (Iñiguez y Scoppa 1970), en los que el mayor porcentaje se halla en los horizontes más profundos (base del solum y horizonte C). Otra diferencia es la baja cristalinidad de los minerales de arcilla en los horizontes más profundos del Natracualfes. El drenaje restringido y las condiciones de alcalinidad serían las causas de las diferencias indicadas. Morrás *et al.* (1982) al estudiar un sector de la Llanura Chaqueña («Chaco Deprimido») ubicado en la provincia de Santa Fe, con distintos suelos, entre ellos Natracualfes, halla una diferencia mineralógica entre los horizontes A y Bt.

En el epipedón prevalece la illita con estructura poco conservada, mientras que en el horizonte nátrico (Bt_{na}) la illita disminuye con una mayor abertura de su estructura laminar, y un neto predominio de arcillas expandibles. Esas variaciones se corresponden con un gran contraste morfológico entre ambos horizontes. Dicho autor atribuye el cambio mineralógico a diferentes causas: a) alteración de definidos minerales de arcillas en el horizonte A, aunque sus condiciones de pH, neutro a ligeramente alcalino, no parecen compatibles con los procesos de alteración de minerales arcillosos con la intervención de H⁺ intercambiable; b) otra causa de esas diferencias mineralógicas, el autor la adjudica en parte a procesos de argiluvación (*lessivage*) preferencial de las arcillas expandibles debido a su menor tamaño y la consecuente acumulación en el horizonte iluvial. De acuerdo a dicho autor, la dispersión y la migración de las arcillas serían facilitadas por el elevado tenor en sodio intercambiable.

Arealmente muy subordinados y restringidos al nordeste (provincias de Misiones y Corrientes) se han caracterizado horizontes kándicos a menudo de

textura fina, pero con muy baja CIC, y valor S, pH ácidos y leve a moderada saturación con aluminio intercambiable. Se trata de Kandiudalfes ródicos, en los que se presume una importante participación de arcillas caoliníticas. Los valores de CIC varían entre 4 y 8 cmol/kg, siendo la capacidad efectiva de cambio variable entre 1,8 y 4,1 cmol/kg. En estos casos la saturación con aluminio intercambiable varía entre 10 y 35 %, mientras que la saturación con bases resulta la más baja de todos los Alfisoles reconocidos. Los muy bajos valores de CIC se atribuyen al predominio de arcillas de baja actividad y dada su restricción geográfica (extremo oriental de la Llanura Chaqueña y Plateau Misionero) se infiere que tal situación podría atribuirse al severo efecto de meteorización resultante de la combinación de muy altas temperaturas y elevada oferta pluvial. También puede adjudicarse -en forma combinada- a la presencia de materiales originarios provenientes de la alta cuenca de los ríos Paraná y Uruguay (en territorio brasileño) donde impera una severa alteración geoquímica.

Otra situación muy particular y restringida a lomadas arenosas correntinas es la de un subsuelo iluvial donde el Bt posee texturas gruesas y se expresa como «lamelas texturales» intermitentes o discontinuas (Hapludalfes psaménticos).

Horizontes cementados

Se han identificado Alfisoles con duripán o bien con fragipán. Con respecto a éstos últimos, en el sureste de la provincia de Córdoba han sido estudiados con detalle por Schiavo *et al.* (1995). Estos autores describen para la Serie (t) La Providencia (Fragiacualfes típicos) aspectos micromorfológicos de ese horizonte diagnóstico, destacando su elevada densidad de empaquetamiento en relación a los horizontes suprayacentes, así como la presencia de notables fisuras orientadas horizontalmente. Su cementación es atribuida a ferriargilanes, los que enlazan las partículas del esqueleto y colmatan los espacios del empaquetamiento.

De acuerdo a esos mismos autores, estos fragipanes serían horizontes relictuales formados bajo una pedogénesis anterior, resultante de un hidromorfismo ácido que habría facilitado la movilización del Fe²⁺ (liberado por meteorización); en la fase de oxidación este elemento habría actuado como Fe³⁺ formando complejos con las arcillas, generando la compactación del horizonte. No se han identificado rasgos de corrosión de los ferriargilanes a pesar de la alcalinidad que exhiben los fragipanes, por lo que interpretan que estas condiciones químicas se habrían instaurado *a posteriori* de la formación de esos horizontes diagnósticos.

Índices pedogenéticos

Para explicar los principales rasgos de los Alfisoles se ha recurrido a los índices pedológicos desarrollados por Papadakis (1980) y que se documentan en el cuadro 4, ordenados por región. El «Índice de alteración» alude a la mayor o menor severidad del proceso de meteorización y por consiguiente de la descomposición de minerales primarios y secundarios. Considerando que en dicho parámetro interviene la temperatura, controlando la velocidad de las reacciones bioquímicas y geoquímicas, se aprecia que este Índice es máximo en el Plateau Misionero, seguido por el correspondiente a Sierras Subandinas y Llanura Chaqueña, para decrecer paulatinamente hacia el sur, hasta su mínima expresión en la Planicie Patagónica Extraandina. Este gradiente contribuye, inicial y preliminarmente, a explicar el predominio de arcillas de baja actividad en los Alfisoles del Plateau Misionero y del extremo oriental de la Llanura Chaqueña, donde esos suelos exhiben los más bajos valores de CIC, propios de una fracción arcillosa integrada esencial y presumiblemente por caolinitas y óxidos hidratados de Fe^{3+} y Al^{3+} . Los procesos de alteración de esos sectores se ven facilitados por la disponibilidad de agua en los períodos con máximas temperaturas (régimen hipertérmico combinado con régimen de humedad ústico y údico). Hacia el sur con condiciones climáticas algo más atenuadas disminuye la participación de arcillas de baja actividad, concomitantemente con una muy alta participación de especies de retículo 2:1 (illitas y montmorillonitas).

Por su parte el «Índice de lixiviación» es un indicador de la capacidad del agua que ingresa en el suelo de generar la progresiva desaturación del com-

plejo de intercambio, acidificación paulatina, y al mismo tiempo facilitar la migración de las arcillas (argiluviación). Este índice también llamado por Papadakis (1980) «lluvia de lavado» coincide con lo que Duchaufour (1984) designa como «drenaje climático», por lo que deben excluirse aquellas situaciones de mal drenaje y en particular el denominado régimen ácuico (Suborden Acualfes). Los valores más elevados del «Índice de lixiviación», indicador de la movilización de los materiales al estado soluble y en suspensión, están restringidos principalmente al norte y nordeste argentino hasta abarcar buena parte de la Llanura Pampeana. Los valores más altos se corresponden con ámbitos en los que son frecuentes los cambios texturales abruptos (descartando casos en los que están presentes discontinuidades litológicas), así como presencia de potentes horizontes eluviales E (prescindiendo de capas litogénicas), y concordando con una muy profunda acumulación calcárea, casi siempre en forma no cementada. Cuando el ritmo de lixiviación no supera a la liberación de cationes alcalino-térreos el complejo de intercambio conserva una relativa a elevada saturación con bases intercambiables. Por el contrario, cuando la lixiviación es más severa y a un mayor ritmo, suele generarse una acentuada desaturación hasta alcanzar valores menores del 35 %, dando así lugar al Orden Ultisoles, suelos contiguos a los Alfisoles en diversos sectores del paisaje correntino y misionero exclusivamente.

Por último, el «Índice de rubefacción» indica las condiciones que favorecen la presencia de Fe^{3+} libre conformando óxidos férricos deshidratados (Papadakis 1980) que le confieren al suelo un notable tinte rojizo. Este proceso se ve facilitado cuando se alternan períodos de humectación y desecamiento. Co-

Cuadro 4: Índices pedogenéticos (*) según Regiones Morfoestructurales.

REGIÓN	ÍNDICES	ÍNDICE DE ALTERACIÓN	ÍNDICE DE LIXIVIACIÓN ("Lluvia de lavado")	ÍNDICE DE RUBEFACCIÓN
Plateau Misionero		184	691	37
		169	608	26
		146	521	25
Sierras Subandinas		90	370	39
		52	209	37
		50	163	24
Llanura Chaqueña		114	138	33
		69	92	23
		39	86	21
Llanura Pampeana		30	269	12
		17	198	10
		15	126	8
Sierras Pampeanas		13	45	12
		11	38	11
		8	33	-
Cordillera de los Andes Patagónicos (Sector pedemontano)		56	116	11
		39	60	10
		6	40	10
Planicie Patagónica Extraandina		4	21	2
		3	15	2
		2	14	1

(*) Fuente: Papadakis (1980, pág. 83-94). Los valores corresponden a tres localidades por Región.

mo se aprecia en el cuadro 4, los valores más elevados del proceso de rubefacción se concentran en las tres regiones más septentrionales. Esto explica la presencia de Rodudalfes, Kandudalfes ródicos y Paleudalfes ródicos exclusivamente en las provincias de Corrientes (extremo este-nordeste) y Misiones, donde son identificados con el término vernáculo de «tierras coloradas», si bien corresponde señalar que bajo esa definición popular están incluidos otros Órdenes, principalmente Ultisoles y Oxisoles.

En cuanto a los Alfisoles rojizos de las Sierras Subandinas bajo vegetación selvática, su coloración puede atribuirse parcialmente al material de origen (sedimentitas cretácicas y terciarias) en las inmediaciones de Orán, Zenta, sierras de Aguara Güe y San Andrés entre otras. En las tres regiones aunque se carece de información respecto del origen de la coloración rojiza, es probable que se trate de una propiedad heredada (suelos litocromáticos de origen litogénico) y al mismo tiempo de una propiedad adquirida por la participación del proceso de rubefacción y aún el de ferruginización en el sentido discutido por Buol *et al.* (1989) y Duchaufour (1984).

Conclusiones

Teniendo en cuenta que los Alfisoles en la Argentina alcanzan un importante desarrollo areal, ocupando el cuarto lugar luego de los Aridisoles, Entisoles y Molisoles, con una superficie aproximada de 225.000 km²: un 39% de los Alfisoles posee un horizonte argílico enriquecido en arcillas de retículo 2:1. Escasamente poseen un Bt cándico, con arcillas de baja actividad (caolinitas e hidróxidos de Fe³⁺ y Al³⁺). El 58% presenta un horizonte Bt sódico (nátrico) formado en medios alcalinos, previos a la pedogénesis o bien como consecuencia de una alcalinización posterior a la formación de un Bt argílico.

La gran mayoría de los Alfisoles (65%) se encuentran actualmente sometidos a condiciones reductoras (régimen ácuico). Un 27% posee un régimen hídrico ústico (lluvias de verano), un 7%, régimen ústico casi siempre sin restricciones de drenaje, y el 1% restante, un régimen xérico (lluvias invernales). Un 68% de la superficie ocupada por Alfisoles tiene un régimen hipertérmico (temperatura media anual del suelo superior a los 22°C), un 30%, régimen térmico (entre 22 y 15°C), un 1,16%, temperaturas entre 15 y 8°C (régimen méxico) y un 0,20% temperaturas medias anuales inferiores a los 8°C (régimen frío).

De acuerdo a definidas Regiones morfoestructurales, el 61% de los Alfisoles integra la Llanura Chaqueña; el 21% forma parte de la Llanura Pampeana, un 12% se asocia a las Sierras Subandinas; mientras que el resto integra el Plateau Misionero (3,9%), sector pedemontano de los Andes Patagónicos

(1,3%); Sierras Pampeanas (0,5%) y la Planicie Patagónica Extraandina (0,3%). La gran concentración areal de Alfisoles al norte del paralelo 36°S, región norte y nordeste del país, se corresponde con los más elevados valores de «Índice de lixiviación» según la acepción dada por Papadakis (1980) a dicho parámetro. Paralelamente explica la muy escasa participación de este Orden en las Sierras Pampeanas y la Planicie Patagónica Extraandina cuyo «índice de sequía» o balance hídrico negativo (régimen árido) no favorece actualmente los procesos de transporte de materiales en solución y en suspensión, capaces de generar horizontes de acumulación de arcillas cristalinas, requisito común a todos los Alfisoles.

Entre los Alfisoles prevalece la vegetación de estepa respecto de las formaciones arbóreas. Dado el predominio de condiciones sódicas en vastos sectores de la Llanura Pampeana y Llanura Chaqueña, los Alfisoles sustentan una vegetación higro-halófito. El material originario resulta muy variable, si bien predominan sedimentos aluviales y eólicos con variado grado de retransporte fluvial. En sectores aislados el material parental es de naturaleza lacustre, en otros sedimentos de albuferas y canales de marea, y muy escasamente drift glacial estratificado. En algunas Regiones, particularmente la Llanura Pampeana (sector de la Pampa Deprimida), muchos Alfisoles están integrados por varios sedimentos alternantes de naturaleza eólica y marina (suelos poligenéticos). En la figura 4 se observa un perfil esquemático con la distribución de los Alfisoles y suelos asociados, a la latitud de 24° S.

El perfil más frecuente está integrado por una sucesión de horizontes A, E, Bt, BC, C. Algunos casos exhiben una mayor transición entre el A y el Bt mediante la presencia de horizontes EB y/o BE. En términos de horizontes diagnósticos la secuencia más frecuente es un órico sobreyaciendo a un nátrico o bien a un argílico. Los horizontes superficiales A son poco potentes y generalmente poseen bajos contenidos en materia orgánica, con mínimos inferiores al 1% y máximos del 16%; éste último corresponde a Alfisoles más australes en los que las bajas temperaturas (régimen frío) favorecen la acumulación de materia orgánica. En general el contenido de materia orgánica está en relación inversa con las precipitaciones. Esta situación podría justificarse por cuanto los valores más elevados de lluvias son concordantes con los máximos de temperatura que acelerarían la mineralización de la materia orgánica, no favoreciendo su acumulación.

Los horizontes E son de muy variable espesor, hasta superar los 30 cm y en ocasiones la severidad del proceso de eluviación es tal que reúnen los requisitos de un álbico. Su distribución geográfica no está restringida a ninguna región en particular. Para algunos autores su presencia se debe a la influencia del microrrelieve cóncavo. En

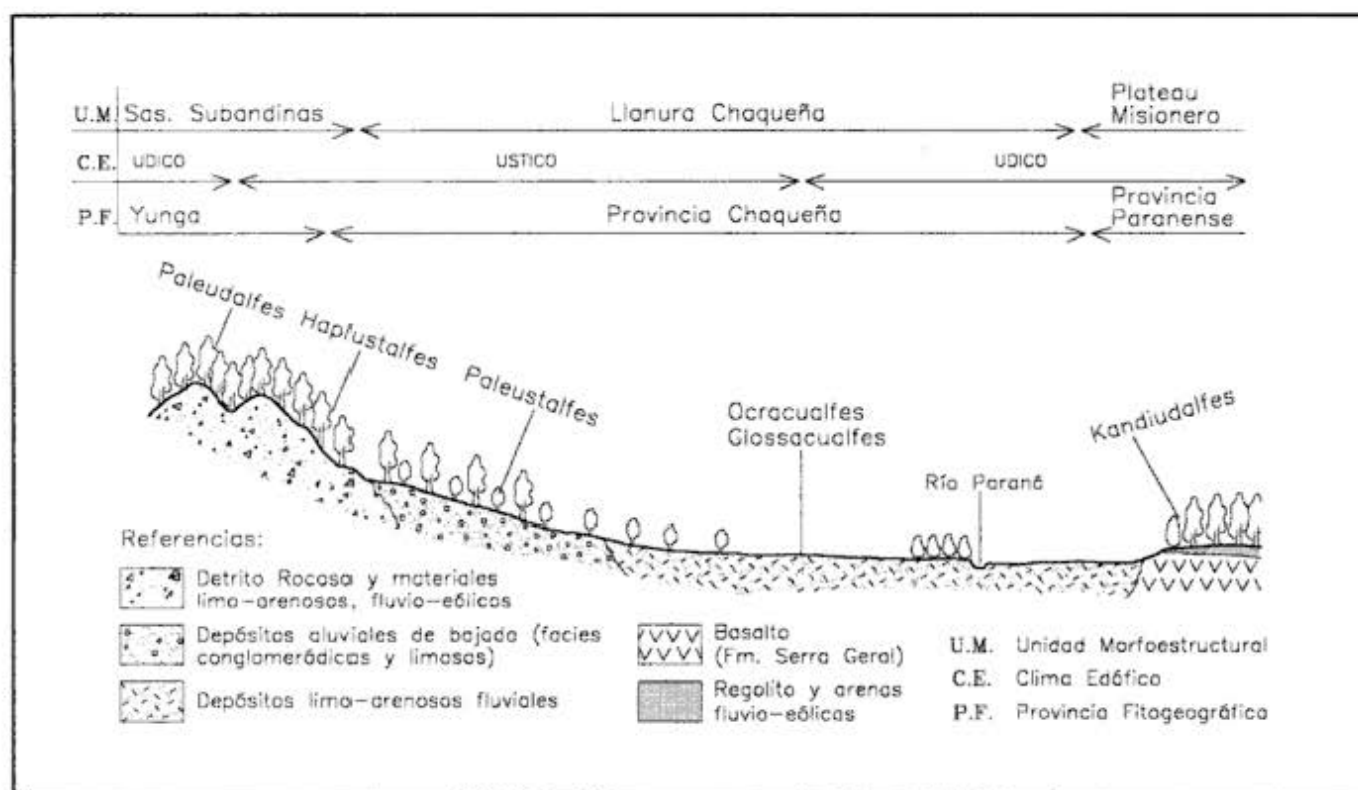


Figura 4: Perfil esquemático oeste-este a 24° de latitud sur.

otros casos se corresponderían con discontinuidades litológicas.

Los horizontes Bt poseen un amplio rango en el contenido de la fracción arcilla (entre 20 y 60%) con los valores mayores en la porción septentrional del país. Al comparar el cociente %arcilla de B/%arcilla de A, siempre superior a 1,2, surge una relación directa con las precipitaciones pluviales. Paralelamente, para zonas de igual oferta pluvial, los índices de menor valor se asocian a suelos de textura muy fina.

En general los valores de CIC son altos (20 a 30 cmol/kg) si bien hay Alfisoles con 3 a 5 meq/100g. Para el horizonte Bt existe una relación inversa entre la CIC y las precipitaciones y entre aquel parámetro y el contenido de arcillas. Estas relaciones sugieren la presencia de especies mineralógicas diferentes, siendo que las de más baja actividad se asocian a los máximos pluviales, coincidentes con máximos de temperatura, lo que favorecería una severa meteorización (este de la Región Llanura Chaqueña y Plateau Misionero).

La gran mayoría de los Alfisoles poseen una saturación con bases superior al 60%, siendo los menos saturados los que se asocian a las zonas de mayores precipitaciones. Concordante con ello existe una relación inversa entre el pH y el monto pluvial. Los valores más elevados de pH, a menudo próximos o superiores a 9, se asocian a Alfisoles ácidos y sódicos

(Natracualfes). Es frecuente la presencia de un solum totalmente descarboxinado y a menudo las acumulaciones calcáreas se hallan por debajo del metro de profundidad. Quedan exceptuados de esta generalización aquellos suelos con drenaje restringido.

No obstante la calidad de las contribuciones referidas a la génesis de los Alfisoles argentinos, al presente resultan exiguas y fragmentarias, dada la diversidad de los factores pedogenéticos que han incidido en el origen y formación de sus numerosas variedades taxonómicas. La intensificación y ampliación de su estudio producirá un mejor conocimiento de sus propiedades, origen y evolución, aspectos éstos de imperiosa necesidad en función de su relativa importancia areal, y de su uso actual y potencial. El estado actual del conocimiento del Orden Alfisoles, en el territorio nacional, se halla a la zaga respecto de los Molisoles, Andisoles y Vertisoles.

Agradecimientos

A J. Salazar Lea Plaza de la Unidad de Reconocimiento de Suelos del INTA - Castelar, por permitir el acceso a datos de laboratorio de Alfisoles de diferentes provincias argentinas. A R. Lavado (UBA) y a H. Morrás (INTA) por facilitar sus contribuciones *in extenso* vinculadas al tema aquí tratado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Buol, S.W., Holc, F. and Mc Craken, R., 1989. Soil genesis and classification. Iowa State University Press, 446 p., Ames.
- Cabrera, A., 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Fascículo 1, Tomo 2. 2da Edición. Editorial ACME, p., Buenos Aires.
- Duchaufour, P., 1984. Edafología 1. Edafogénesis y Clasificación. Editores Toray-Masson, 493 p., Barcelona.
- Ferrer, J. A. y Pereyra, F.X., 1993. El Orden Alfisoles en la Argentina. Relación entre factores pedogenéticos y propiedades seleccionadas. Actas 14º Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 439-440. Mendoza.
- Imbellone, P. A., 1980. Micropedología de una toposecuencia de suelos en el Partido de Magdalena, prov. de Buenos Aires. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3, Clima y Suelo, 15 (4): 635-658.
- Iñiguez, A. M. y Scoppa, C.O., 1970. Los minerales de arcilla en los suelos «zonales» ubicados entre los ríos Paraná y Salado (prov. de Buenos Aires). Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3, Clima y Suelo, 7 (1): 1-41.
- Iñiguez, A. M. y Scoppa, C.O., 1971. Mineralogía de arcillas en suelos alcalino - sódicos del noreste de la provincia de Buenos Aires. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3, Clima y Suelo, 8 (3).
- Lavado, R.S., 1983. evaluación de la relación entre composición química del agua de lluvia y el grado de salinidad y sodicidad de distintos suelos. Revista de la Facultad de Agronomía (BA), 4(2):135-139.
- Lavado, R.S., Rubio, G. y Alconada, M., 1991. Factores que afectan la salinidad y la alcalinidad de dos Natracualfes pampeanos. Actas 13º Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 216-216. Bariloche, Río Negro.
- Morrás, H. J., 1983. Some properties of degraded argillans from A2 horizons of Solodic Planosols. In: Soil Micromorphology, AB Academic Publ., Soil Genesis, 2: 575-581.
- Morrás, H. J., 1985. Estado actual de la mineralogía y micropedología de suelos de la región pampeana norte con referencia particular a la provincia de Santa Fe. 1º Jornadas Regionales de Suelos, Región Pampeana Norte (Relato), INTA Rafaela, Publicación Miscelánea n°30:191-217.
- Morrás, H. J., 1995. Mineralogy and cation exchange capacity of the fine silt fraction in two soils from the Southern Chaco Region (Argentina). Geoderma, 64:281-295.
- Morrás, H. J., Robert, M. et Bocquier, G., 1982. Caracterisation minéralogique de certains sols salsodiques et planosoliques du «chaco Deprimido» (Argentina). Cah.O.R.S.TOMO, Serie Pédologie 19 (2):151-169.
- Panigatti, J. L., 1980. Molisoles del norte de la zona pampeana. Actas 9º Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo: 927-940. Paraná, Entre Ríos.
- Papadakis, J., 1980. El Suelo, con especial referencia a los suelos de América Latina. Editorial Albatros, 346 p., Buenos Aires.
- Piñeyro, A., y Panigatti, J.L., 1972. Génesis de un suelo Planosol. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3, Clima y Suelo, 9 (1): 1-27.
- Rust, R., 1983. Alfisols. In: Wilding, L., Smeck, N. and Hall, G. (Eds.): Pedogenesis and Soil Taxonomy, 2 The Soil Orders, pp. 253-281. Elsevier, Amsterdam.
- Schiavo, H. F., Becker, A. y Cantú, M.P., 1995. Caracterización y génesis de los fragipanes de la depresión de Curapaligüe. Dpto. Sáenz Peña, Córdoba. Ciencia del Suelo, 13: 28-34.
- SEAGyP - INTA, 1989. Atlas de suelos de la República Argentina, 2 tomos y 23 planos, Buenos Aires.
- Smith, G. D., 1965. Lectures on soil classification Pedol. Special number 4, Bull. Soc. Belge Pedol, 1-134.
- Soil Survey Staff, 1996. Keys to Soil Taxonomy, USDA, 644 p. Washington D. C.
- Taboada, M., Panuska, E., Lavado, R., Gimenez, J. y Duymovich, O., 1987. Pérdidas de sustancias húmicas de suelos a través del río Samborombom - 2. Comparación de suelos con horizonte nátrico y argílico. Notas del Museo de La Plata, 21 (74): 67-76.
- Teruggi, M., 1957. The nature and the origin of Argentine loess. Journal of Sedimentary Petrology, 27(3):322-332.
- Tricart, J., 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos. INTA, Colección Científica, n°12, 202p., Buenos Aires.
- Valencia, R. e Imbellone, P., 1971. Formaciones ferromangáníferas en suelos del Partido de Magdalena, prov. de Buenos Aires. Actas 6º Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, 1:143-144, Córdoba.
- van Wambeke, A. y Scoppa, C.O., 1976. Las taxas climáticas de los suelos Argentinos. Determinación de las definiciones del Soil Taxonomy mediante el modelo matemático de Newhal y su resolución por computación Fortran IV. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3, Clima y Suelo, 13 (1): 7-39.
- Vargas Gil, J. R., Scoppa, C.O. e Iñiguez, A.M., 1972. Génesis de los suelos de la región norte de la Bahía de Samborombom. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Serie 3, Clima y Suelo, 9 (1): 29-52.
- Vesco, C. J., 1985. Inventario de los suelos, estado actual, problemática y proyección en la provincia de Entre Ríos. Relato. 1º Jornadas Regionales de Suelos, Región Pampeana Norte. INTA Rafaela, Publicación Miscelánea n°30: 13-49.
- Wilding, L. P. and Rehage, J.A., 1993. Pedogenesis of soils with aqic moisture regimens. In: Wetlands Soil, Characterization, Classification and Utilization, pp.139-157. Wilding Ed.

Recibido: 20 de marzo, 2000

Aceptado: 18 de abril, 2001