

PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN VITRAXERAND HÚMICO Y UN HAPLOXEROL VITRÁNDICO BAJO PINO PONDEROSA Y ESTEPA (SO NEUQUÉN)

CANDAN, F.; BROQUEN, P.; FALBO, G.

RESUMEN

Se caracterizaron cuatro perfiles de suelos representativos de los extremos de la biosecuencia transición bosque-estepa (dos al oeste y dos al este). En cada extremo uno con vegetación nativa de estepa y otro con vegetación implantada de *Pinus ponderosa* Dougl. bajo equivalentes condiciones de sitio. Los suelos son derivados de cenizas volcánicas, con régimen xérico-mésico, ligeramente ácidos al oeste y neutros al este, el pH(KCl) fue siempre menor al pH(H₂O) indicando un posible dominio de cargas electronegativas, el tenor de bases fue medio y el de carbono y

Facultad de Ciencias Agrarias-Asentamiento Universitario San Martín de los Andes, Universidad Nacional del Comahue.
Ruta Nacional 151 km 12,5 CC 85 (8303) Cinco Saltos, Río Negro. e-mail: ssegatori@tutopia.com

nitrógeno de bajo a medio. La acidez de la solución del suelo fue similar bajo pino y bajo estepa. La concentración de materia orgánica fue siempre menor bajo pino, indicando que el ecosistema tendió a responder como un sistema alterado.

Palabras clave: *biosecuencia bosque-estepa, cenizas volcánicas, reacción del suelo, carbono orgánico.*

SUMMARY

CHEMICAL SOIL PROPERTIES IN HUMIC VITRIXERAND AND VITRANDIC HAPLOXEROL UNDER PONDEROSA PINE AND STEPPE (SW NEUQUÉN)

Four representative soils profiles of the ecotono forest-steppe borders were characterized (two at west and two at east). In each situation, one with native steppe vegetation and another with Ponderosa Pine afforestations, under equivalent site conditions. All parent material soil was volcanic ash, developed under xeric-mesic regime. Soils were from slightly acidity classes -western site- to neutral -eastern site-. $\text{pH}(\text{KCl})$ values were always lower than $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ probably implying electronegative variable charge. Total exchangeable cations were medium and total carbon and nitrogen was low to medium. Soil solution acidity was similar under Ponderosa Pine and steppe vegetation. Organic matter concentration was always lower under pines showing an altered ecosystem behavior.

Keywords: *biosequence forest-steppe, volcanic ash, soil reaction, organic carbon.*

INTRODUCCIÓN

La zona en estudio se encuentra comprendida dentro de la transición entre el bosque mixto húmedo de *Nothofagus* y la estepa patagónica en la provincia del Neuquén, donde los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen una amplia distribución areal y poseen un importante potencial forestal debido a sus particulares propiedades. Éstas son debidas a la

influencia del material parental y el régimen hídrico, determinando una baja densidad aparente y una alta capacidad de retención hídrica acompañada de alta permeabilidad (Colmet Daage *et al.*, 1988a; 1988b). La vegetación arealmente dominante está representada por la estepa subarbutivo-graminosa de *Stipa speciosa* Trin. (coirón amargo) y *Mulinum spinosum* Pers. (neneo) (Movia *et al.*, 1982; Bran, 1992; Correa, 1998), acompañada principalmente por bosquetes aislados de *Nothofagus antarctica* (Forst.f.) Oerst. (ñire) y *Austrocedrus chilensis* (Don.) Florín et Boutleje (ciprés de la cordillera).

El uso de la tierra en el ecotono bosque-estepa ha sido históricamente la ganadería extensiva ovino-caprina (Coppa, 1985). En las últimas décadas la forestación con coníferas exóticas ha logrado un sustancial desarrollo y ocupa importantes áreas. El principal objetivo de estas plantaciones es la producción de madera y la especie comercialmente más utilizada es el *Pinus ponderosa* Dougl. (Colmet Daage *et al.*, 1988b; Urzúa Vergara, 1991; Broquen *et al.*, 1995; 2000). Dichas plantaciones se encuentran próximas al turno de corta, siendo fundamental obtener elementos que permitan evaluar el comportamiento de los suelos bajo uso forestal. Para esto se plantea determinar los cambios de las propiedades físico-químicas y contenido de materia orgánica a nivel del perfil del suelo entre sitios con pino ponderosa y con vegetación nativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La biosecuencia bosque-estepa está comprendida dentro de la región Extra Andina, subregión Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías. Presenta un gradiente altitudinal entre 1000 y 700 m y vientos dominantes con dirección oeste-este. El clima general es templado húmedo con una precipitación media anual de 1000 mm al oeste que disminuye progresivamente hacia el este hasta 500 mm (Barros *et al.*, 1983) y con una estación seca contrastante. Los suelos son bien drenados, el material parental es ceniza volcánica sobre material glaciario (Ferrer *et al.*, 1990), el régimen térmico es méxico y el régimen hídrico es xérico. Los suelos varían de oeste a este de Andisoles a Molisoles, los Andisoles están débilmente meteorizados -con dominio de pumicita, lapilli y vidrio en todo el

perfil- y pasan gradualmente hacia el este a no tener propiedades nitidamente ándicas pero con dominio de pumicita y/o lapilli en todo el perfil. La evolución de los suelos en la biosecuencia está marcada por el material parental piroclástico y por el régimen hídrico xérico (Colmet Daage *et al.*, 1988a; Broquen *et al.*, 2002).

Continuando estudios anteriores (Broquen *et al.*, 2002) y considerando las características de los sitios, suelos y rango de edades de las plantaciones existentes en la zona, se realizó el estudio de casos utilizando parcelas representativas de los sitios de los extremos oeste y este de la biosecuencia.

En cada extremo se analizaron dos situaciones, una bajo vegetación natural -estepa subarbuscivo-graminosa (vn)- y otra bajo vegetación implantada -*Pinus ponderosa* Dougl. (pp)- en equivalentes condiciones de sitio. Esto implicó que las parcelas fueran colindantes a una distancia no menor a 20 m -asegurando la mínima influencia de una vegetación sobre la otra tanto a nivel de hojarasca como de raíces- y que la morfometría de la superficie fuera similar -igual rango de altitud, posición, orientación y gradiente de la pendiente-.

El sitio representativo del extremo oeste se determinó considerando el pasaje de régimen údico a xérico. Este cambio se detecta, según los antecedentes, en los suelos de la vertiente este de la Loma Atravesada de Taylor. Las plantaciones más próximas a esta situación se encontraron en la Estancia Collun Co (pp: 39° 58'17" S / 71° 11'44" O y vn: 39°58'21" S / 71°11'41" O), con 900 mm de precipitación media anual, a 910 m de altitud y suelos que correspondieron a *Vitrikerandes húmicos*. El límite este, donde cambia del régimen xérico al arídico, corresponde a la zona de confluencia del río Aluminé con el río Collón Curá. Las plantaciones más cercanas se encontraron en la Estancia Huechahue, pero los incendios ocurridos no permitieron que fuesen utilizadas como unidades de muestreo. Esto llevó a seleccionar una situación más hacia el oeste como sitio representativo, que se localizó en Cor.Fo.Ne. Junín (pp: 39° 57'17" S / 71° 05'34" O y vn: 39° 57'18" S / 71° 05'31" O), con 700 mm de precipitación media anual, a 890 m de altitud y suelos que fueron *Haploxeroles vitrándicos* (Colmet Daage *et al.*, 1988a; Broquen *et al.*, 2002).

La vegetación nativa se caracterizó fisonómicamente según sus elementos y estratos. Para establecer la superficie de muestreo se utilizó el criterio de área mínima, determinándose las especies más frecuentes de

los estratos dominantes y el porcentaje de cobertura (Braun Blanquet, 1950). Se corroboró la descripción de los suelos y la equivalencia de las condiciones de sitio en base al manual de reconocimiento de suelos del Soil Survey Staff (USDA, 1998). La alta estabilidad de la estructura cuyos agregados tipo están formados por una masa amorfa, orgánica y mineral que constituyen los seudolimos o pseudoarenas determina que la textura de estos suelos no pueda establecerse por los métodos tradicionales. La estructura masiva descrita en suelos derivados de cenizas volcánicas es particular, continua y coherente, tiende a romper a bloques irregulares, blanda en seco, frágil, untuosa muy friable, no adhesiva y no plástica, donde las raíces se desarrollan sin ningún tipo de impedimento. Muchas veces al secarse pierde coherencia tomando un aspecto similar a grano suelto (Duchaufour, 1968; Quantin, 1972; Wada, 1977; 1985; Besoain, 1985; Shoji *et al.*, 1993; Broquen, 2002). La determinación de la textura por los métodos tradicionales genera grandes diferencias entre las determinaciones a campo y de laboratorio, no reflejando la composición granulométrica el comportamiento del suelo, por lo que se utiliza un modificador de la textura a campo aplicándose el término "aparente" (Soil Survey Staff 1993) o el prefijo "seudo" en su designación (Colmet Daage *et al.*, 1988a).

En cada parcela se tomó una muestra compuesta por tres submuestras por cada horizonte. Las propiedades químicas se determinaron por triplicado y fueron aquellas características de los suelos derivados de cenizas volcánicas y susceptibles de variación por la influencia de la vegetación: pH(H₂O) y pH(KCl) (Sadzawka, 1990); acidez de intercambio (Peech, 1965); bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Sumner and Miller, 1996); capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe); contenido de carbono orgánico por combustión húmeda y contenido de nitrógeno total (Nelson and Sommers, 1996) y relación C/N. Dentro de las variables seleccionadas se determinó la CIC efectiva -recomendada para suelos con propiedades ándicas- dado que la capacidad de intercambio es, en estos casos, dependiente del pH y por lo tanto, la CIC determinada por métodos convencionales no refleja el comportamiento del suelo, obteniéndose una gran variabilidad en los resultados (Besoain, 1985). La CIC efectiva se define como la suma de los cmol(+) kg⁻¹ de las bases totales y del Al³⁺ e H⁺ extractables con KCl (Duchaufour, 1984; Besoain, 1985; Fassbender and Bornemisza, 1987).

Se compararon las medias, a nivel del perfil del suelo, de las distintas variables determinadas a través del análisis de varianza de un factor (*Prue-*

ba F) para un nivel de significancia del 95 % y utilizando el programa SAS (1997). Las comparaciones se realizaron considerando los datos obtenidos en el laboratorio, los cuales expresan concentraciones. Al haberse encontrado diferencias en el espesor y/o en la densidad aparente se realizó la comparación sobre la base del contenido por unidad de masa equivalente. Los cálculos se realizaron según Ellert and Bettany (1995) y Broquen (2002), teniendo en cuenta la profundidad de cada horizonte y su densidad aparente, con una superficie arbitraria de 1 m² y llevándolo luego a un mismo peso (1000 kg).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la vegetación

La vegetación bajo uso pastoril correspondió, en ambos extremos, a la formación de estepa subarbutivo-graminosa (Movia *et al.*, 1982; Bran, 1992; Correa, 1998). Las especies dominantes fueron *Stipa speciosa* Trin. (coirón amargo) y *Mulinum spinosum* Pers. (neneo), acompañados principalmente por *Festuca pallelescens* (St.Yv.) Parodi (coirón dulce), *Acaena splenden* (acaena), *Eringium paniculatum* Camb. et Domb. (cardoncillo), *Oxalis valdiviense* Barn. (vinagrillo), *Rumex acetosella* (vinagrillo), *Senecio sp* (senecio) y otras, con una cobertura del suelo que varió entre 50 y 80 %, correspondiendo a etapas de degradación de Coironales de *Festuca pallelescens* (Bonvissuto *et al.*, 1993; Correa, 1998) dado la abundancia de neneo y coirón amargo y los valores de cobertura vegetal. Por otra parte la presencia de acaena, cardoncillo, vinagrillos y senecio también indicó el avanzado estado de degradación de los sitios, ya que son especies ruderales que se desarrollan cuando las condiciones empeoran y reemplazan a aquellas especies de mayor valor ecológico (Correa, 1988).

Las parcelas bajo uso forestal correspondieron, en ambos extremos, a primeras plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl., monoespecíficas, coetáneas de 19 años de edad y con una cobertura del 90 %.

Características edáficas

Los perfiles representativos de los extremos presentaron una evolución similar que se refleja en una serie de características marcadas por el

material parental, ceniza volcánica y el régimen hídrico xérico de los suelos. A su vez presentaron ciertas diferencias debidas a la topoclimosecuencia y su correspondiente variación climática oeste-este, principalmente el gradiente de precipitaciones (Broquen, 2002).

Es importante destacar que se consideraron estudios de casos que sirven de referencia respecto a las características generales de los cuerpos de suelo en estudio. No se pueden realizar generalizaciones dado que el estudio de casos permite una buena caracterización puntual, a partir de la cual se pueden inferir ciertas tendencias. Incrementando el número de muestras analizadas los resultados pueden corroborarse o no.

Características morfológicas y propiedades físicas

Se presentan en el Cuadro 1 las principales características morfológicas y propiedades físicas de los perfiles en estudio. La información presentada corresponde a una síntesis de los datos relevados y los presentados por Broquen y otros (1995; 2000; 2002).

Cuadro 1. Principales características morfológicas y propiedades físicas de los perfiles en estudio.

Ubicación	Vegetación	Características morfológicas				Propiedades físicas			
		horizonte	espesor cm	color en húmedo (Munsell)	textura	estructura	a Mg m ⁻³	C.C. g (g 100g ⁻¹)	P.M.P.
oeste	pp	Oi	5-0						
		A1	0-7	10YR 2/1	slAg	grano suelto	1,08	14,0	7,0
		A2	7-23	10YR 2/1	slAg	grano suelto	1,08	14,1	7,1
		Bw1	23-79	10YR 2/2	slA	masivo	1,01	16,3	10,2
		Bw2	79-100	10YR 3/3	sl	masivo	1,10	24,2	10,1
	2C	100-107	10YR 3/3	a	bloques subangulares	1,00	27,8	11,7	
	vn	A	0-13	10YR 2/1	sAf	fluffy	1,10	17,1	8,5
		Bw1	13-35	10YR 3/2	slAg	fluffy-grano suelto	1,08	16,9	9,6
		Bw2	35-72	10YR 3/4	sA	grano suelto	1,10	19,8	9,8
		2C	72-105	10YR 3/3	FaA	masivo	1,00	23,1	11,7
este	pp	Oi	5-0						
		A1	0-16	10YR 2/2	Faf	masivo	1,09	16,3	6,9
		A2	16-50	10YR 2/2	FAg	grano suelto	1,08	15,9	7,4
		Bw1	50-95	10YR 3/2	FAg	masivo	1,00	21,0	10,3
		Bw2	95-140	10YR 3/3	FAg	grano suelto	1,00	31,1	9,3
	vn	A1	0-5	10YR 3/1	Faf	fluffy	1,12	20,4	11,7
		A2	5-30	10YR 2/2	FAg	masivo	1,09	16,9	8,2
		Bw1	30-90	10YR 2/2	FAg	masivo	1,00	18,6	8,4
		Bw2	90-134	10YR 3/2	FAg	masivo	0,99	15,1	7,7
		2C	134-150	10YR 4/2	FaAf	masivo	1,26	26,5	13,0

Ref.: a: densidad aparente; C.C.: capacidad de campo; P.M.P.: punto de marchitez permanente; g: contenido gravimétrico de agua; slAg: pseudo limoarenosa gruesa; slA: pseudo limoarenosa; sl: pseudo limosa; a: arcillosa; sAf: pseudo arenosa fina; sA: pseudo arenosa; FaA: francoarcilloarenosa; Faf: francoarenosa fina; FAg: francoarenosa gruesa; FaAf: francoarcilloarenosa fina.

Los suelos de ambos extremos y bajo los dos tipos de vegetación fueron similares en su morfología y presentaron la misma secuencia de horizontes (A - Bw - 2C). La presencia de un manto de cenizas sobre material glacial se reflejó en la discontinuidad litológica a nivel del horizonte 2C. En todo el perfil predominaron las texturas gruesas, dominadas en superficie por la presencia de pumicita y lapilli. La estructura fue masiva y grano suelto, observándose en el horizonte-A bajo vegetación nativa una estructura granular tipo fluffy como resultado del efecto aglutinante de las raíces. Fueron suelos no adhesivos y no plásticos tornándose ligeramente plásticos con la profundidad. La densidad aparente de los sitios varió de 0,99 a 1,26 Mg m⁻³, considerándose de media a baja. Bajo ambas vegetaciones el color en húmedo en los suelos del oeste fue negro (10YR 2/1) en superficie tendiendo a pardo oscuro (10YR 3/3) en profundidad y al este pardo muy oscuro (10YR 2/2) en superficie tendiendo a pardo oscuro (10YR 3/3) en profundidad (Cuadro 1).

Bajo pino ponderosa se encontró en ambos extremos un horizonte orgánico de hojarasca plenamente reconocible, de aproximadamente 5 cm, implicando un gran aporte de materia orgánica a través de la superficie del suelo. El espesor del horizonte-A fue mayor bajo pino que bajo estepa (10 cm más al oeste y 20 cm al este), reflejando la protección que el sistema boscoso implantado generó frente a la erosión (Falbo *et al.*, 2001).

Propiedades fisico-químicas

Se presentan en el Cuadro 2 las propiedades fisico-químicas y las relacionadas con la materia orgánica por horizonte y perfil; en el Cuadro 3 los valores promedios de las variables analizadas para los suelos de ambos extremos a nivel del perfil del suelo y en el Cuadro 4 una síntesis del análisis estadístico correspondiente. La información presentada para vegetación nativa corresponde a una síntesis de los datos presentados por Broquen y otros (2002).

Reacción del suelo: Los suelos del oeste fueron ligeramente ácidos (6,1 bajo pp y 6,4 bajo vn) pasando a neutros al este (6,7 bajo pp y 6,6 bajo vn) según las clases de acidez del Soil Survey Staff (1992), manteniéndose la clase de acidez con el cambio de vegetación y con la profundidad. Los valores de pH(H₂O) encontrados, mayores a 5,5, indicaron que el pH de la solución del suelo estuvo regulado por el sistema CO₂/H₂O y las

Cuadro 2. Principales datos analíticos de las muestras de suelos en el extremo oeste y este bajo pino ponderosa (pp) y vegetación de estepa subarbuscivo-graminosa (vn) por horizonte y perfil.

Ubicación	Clasificación Vegetación	Horizontes	Propiedades fisico-químicas											
			Reacción			Bases de intercambio				Materia orgánica				
			pH H ₂ O	pH KCl	pH	B		CIC	CICe	C		N		C/N
						conc.	cont.			conc.	cont.	conc.	cont.	
oeste	Vitrixiervand húngico pp	Oi												
		A1	5,8	5,3	0,5	6,89	4651	7,08	6,99	12,9	871	0,9	61	14
		A2	6,1	5,2	0,8	7,27	11217	7,47	7,37	10,8	1666	0,8	123	14
		Bw1	6,3	5,3	1,0	8,44	42622	9,57	8,54	15,0	7575	0,8	404	19
		Bw2	6,3	5,2	1,2	13,11	27039	15,34	13,21	11,9	2454	0,9	185	13
	2C	6,2	5,0	1,1	17,64	11025	19,01	17,74	10,8	675	0,8	50	14	
	vn	A	6,4	5,5	0,9	9,48	12104	7,87	9,58	16,1	2056	1,3	166	12
		Bw1	6,5	5,5	0,9	8,58	18202	8,52	8,68	17,1	3628	1,4	297	12
		Bw2	6,4	5,3	1,2	8,04	29217	9,83	8,14	16,1	5851	1,1	400	15
		2C	6,3	5,1	1,2	12,12	31382	14,29	12,22	17,1	4428	1,2	311	14
Oi														
este	Haploxiervand vitrínico pp	A1	6,6	5,4	1,2	12,53	15175	12,16	12,63	11,5	1387	0,5	61	23
		A2	6,7	5,5	1,2	10,86	27693	11,31	10,96	5,8	1466	0,5	128	12
		Bw1	6,4	5,3	1,1	14,21	44406	13,29	14,31	6,1	1906	0,6	188	10
		Bw2	6,9	5,5	1,4	14,01	43781	14,43	14,11	5,2	1609	0,4	125	13
		2C	6,2	5,3	0,8	18,78	66999	15,27	18,81	21,5	767	2,4	86	9
	vn	A2	6,5	5,6	1,0	15,37	26677	14,00	15,42	12,7	2204	1,3	226	10
		Bw1	6,6	5,6	1,0	20,96	80102	16,12	21,06	5,9	2255	1,0	382	6
		Bw2	6,9	5,7	1,3	16,87	46806	18,67	16,97	2,5	694	0,6	167	4
		2C	6,6	5,4	1,2	27,61	35453	26,59	27,71	1,0	128	0,3	39	3
		Oi												

Ref.: pH: diferencia entre el pH(H₂O) y el pH(KCl); : suma de bases totales, conc: concentración (cmol(+) kg⁻¹), cont: contenido (cmol(+) kg⁻¹m⁻²m⁻¹); CIC: capacidad de intercambio catiónico (cmol(+) kg⁻¹); CICe: capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol(+) kg⁻¹); C: carbono orgánico, conc: concentración (g kg⁻¹), cont: contenido (g kg⁻¹m⁻²m⁻¹); N: nitrógeno total, conc: concentración (g kg⁻¹), cont: contenido (g kg⁻¹m⁻²m⁻¹).

bases de cambio. El incremento del pH(H₂O) hacia el este refleja la disminución de las precipitaciones y por ende la menor lixiviación de bases, lo que se discute al considerar bases de cambio. El pH(KCl) se mantuvo en profundidad dentro del mismo rango de valores, en promedio al oeste fue 5,2 bajo pp y 5,4 bajo vn y al este 5,4 bajo pp y 5,5 bajo vn y se mantuvo de oeste a este. Fue siempre superior a 5 lo que indicó una baja actividad del Al³⁺ y baja acidez de intercambio (Cuadros 2 y 3). El pH(KCl) fue en todos los casos menor al pH(H₂O), con un ΔpH positivo -definido como la diferencia entre el pH(H₂O) y el pH(KCl)- que sugeriría un dominio de coloides electronegativos (Tan, 1993). No se observó variación del

Cuadro 3. Valores promedio de las variables analizadas bajo pino ponderosa (pp) y vegetación de estepa subarbuscivo-graminosa (vn) en el extremo oeste y este a nivel del perfil del suelo.

	Valor promedio	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH	B		C		N		C/N
					conc.	cont.	conc.	cont.	conc.	cont.	
oeste	pp	6,1	5,2	0,9	10,7	19311	12,3	2648	0,8	165	15
	vn	6,4	5,4	1,0	9,6	22756	16,6	3990	1,3	293	13
este	pp	6,7	5,4	1,3	12,9	32764	7,2	1592	0,5	125	15
	vn	6,6	5,5	1,1	19,9	39148	8,7	1210	1,1	180	6

Ref.: pH: diferencia entre el pH(H₂O) y el pH(KCl); : suma de bases totales, conc: concentración (cmol(+) kg⁻¹), cont: contenido (cmol(+) kg⁻¹m⁻²m⁻¹); C: carbono orgánico, conc: concentración (g kg⁻¹), cont: contenido (g kg⁻¹m⁻²m⁻¹); N: nitrógeno total, conc: concentración (g kg⁻¹), cont: contenido (g kg⁻¹m⁻²m⁻¹).

Cuadro 4. Síntesis del análisis estadístico (prueba F) para las variables analizadas bajo pino ponderosa (pp) versus vegetación de estepa subarbuscivo-graminosa (vn) en el extremo oeste y este, a nivel del perfil del suelo.

variable	F crítico (gl: 1/7)	F calculado pp vs vn	
		oeste	este
pH(H ₂ O)		5,34	2,20
pH(KCl)		0,39	1,04
pH	(: 0,05)	0,68	2,36
conc	5,59	0,06	7,75*
cont		0,23	0,18
C		21,81**	0,13
cont		0,70	0,59
N	(: 0,01)	42,18**	2,26
cont	12,25	2,31	0,58
C/N		0,99	7,38*

Ref.: pH: diferencia entre el pH(H₂O) y el pH(KCl); : suma de bases totales, conc: concentración (cmol(+) kg⁻¹), cont: contenido (cmol(+) kg⁻¹m⁻²m⁻¹); C: carbono orgánico, conc: concentración (g kg⁻¹), cont: contenido (g kg⁻¹m⁻²m⁻¹); N: nitrógeno total, conc: concentración (g kg⁻¹), cont: contenido (g kg⁻¹m⁻²m⁻¹).

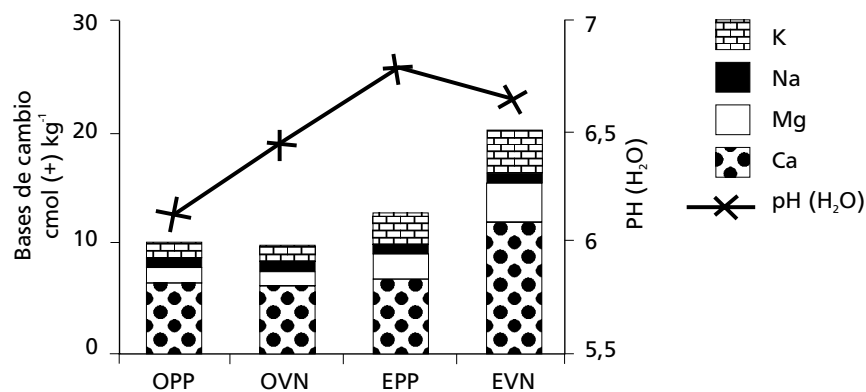
pH(KCl) bajo vegetación de pino, por lo que la acidez de intercambio se mantendría.

El análisis estadístico permitió afirmar que no se detectaron diferencias significativas entre vegetación natural e implantada en el pH(H₂O) y tampoco en el pH(KCl) a nivel del perfil del suelo en ninguno de los extremos (Cuadro 4). Del cuadro 2 se desprende que a nivel del horizonte

superficial en el oeste se encuentra una tendencia a que disminuya el pH(H₂O) y el pH(KCl). Al ser el aporte de materia orgánica del pino principalmente desde la superficie, los cambios comienzan a manifestarse en el horizonte superficial, por lo que no se manifiestan en la totalidad del perfil, lo que implicaría un estado muy avanzado de degradación.

Bases de cambio: La concentración promedio de bases de cambio en el oeste fue 10,7 cmol(+) kg⁻¹ bajo pp y 9,6 cmol(+) kg⁻¹ bajo vn y aumentó hacia el este a 12,9 cmol(+) kg⁻¹ bajo pp y 19,9 cmol(+) kg⁻¹ bajo vn (Cuadros 2 y 3). Según Shoji y otros (1993) el tenor de bases determinado correspondió a un nivel medio al oeste pasando a niveles medios a altos al este, bajo ambos tipos de vegetación tanto al considerar los valores por horizonte como para la totalidad del perfil. Estos resultados reflejaron la variación oeste-este de las precipitaciones dado que el tenor de bases totales disminuye en las regiones con altas precipitaciones por el incremento de la lixiviación (Austin and Vitousek, 1998; Mazzarino *et al.*, 1998), lo que explicaría la tendencia de estos suelos a una mayor cantidad de bases al este donde la precipitación disminuyó de 900 a 700 mm y el régimen hídrico xérico del suelo fue más marcado. El incremento en el tenor de bases fue acorde con los valores de pH más elevados determinados en los sitios del este (Figura 1).

Figura 1. Relación entre el pH(H₂O) y el contenido de bases de intercambio (cmol(+) kg⁻¹), valores promedio del perfil para los cuatro suelos analizados. O: oeste; E: este; pp: pino ponderosa; vn: vegetación nativa.



En el oeste la concentración de bases fue igual bajo ambos tipos de vegetación mientras que en el este fue significativamente menor bajo pp que bajo vn. Al analizar los contenidos referidos a masas equivalentes se observó una tendencia a un menor contenido de bases bajo pp, pero las diferencias no fueron significativas entre ambos usos tanto al oeste (pp: 19311 cmol(+) kg⁻¹ m⁻² m⁻¹ y vn: 22756 cmol(+) kg⁻¹ m⁻² m⁻¹) como al este (pp: 32764 cmol(+) kg⁻¹ m⁻² m⁻¹ y vn: 39148 cmol(+) kg⁻¹ m⁻² m⁻¹) (Cuadros 2, 3 y 4).

Se observó una tendencia a una mayor concentración de bases en el horizonte-A (Cuadro 2) en las parcelas con vn respecto a pp, tanto al oeste (9,5 vs 7,1 cmol(+) kg⁻¹) como al este (17,1 vs 11,7 cmol(+) kg⁻¹), que podría deberse a una menor devolución de bases al sistema bajo pino, debido probablemente a su acumulación en madera y al aporte de una hojarasca con menor concentración de bases, mayor relación C/N y más lenta descomposición (Austin and Vitousek, 1998; Mazzarino *et al.*, 1998). En ambos extremos, tanto bajo pp como bajo vn, se encontró un aumento de las bases con la profundidad que pudo deberse a las bajas precipitaciones y el régimen xérico presente en estos suelos que impedirían una lixiviación completa (Cuadro 2). El Ca²⁺ fue el más abundante en todos los casos, representando entre el 60 y 75 % del total de bases (Figura 1). Los valores obtenidos fueron acordes a los presentados por Colmet Daage y otros (1988a).

Considerando la CIC de los principales coloides y el material de origen de los suelos estudiados, los valores de CIC y CICE encontrados fueron predominantemente bajos, lo que puede deberse al probable dominio de cargas variables en estos suelos (Tan, 1993) (Cuadro 2). Estos valores incrementaron hacia el este, coincidiendo con un menor dominio de propiedades ándicas, mayor contenido en bases de cambio y menor precipitación media anual. La saturación en bases efectiva fue cercana al 100 % e indicó una posible sobrestimación debida principalmente a los bajos tenores de $Al^{3+} + H^+$ determinados dado que la CICE estuvo definida principalmente por la suma de bases más que por los sitios de intercambio. Tal como plantea Besoain (1985): ...si el valor de CIC es variable en cuanto a las circunstancias experimentales, lo es también en cuanto a la especie misma, lo cual implica una doble contradicción y que la expresión cuantitativa tenga un valor restringido. El autor cita a Harada y Wada (1973) quienes señalan que la suma del H⁺ de cambio, el Al³⁺ y las bases no

pueden igualarse al la CIC de los suelos derivados de cenizas volcánicas dado que desarrollan cargas positivas o negativas de acuerdo al pH. De lo antedicho se desprende que los valores de CIC y saturación en bases obtenidos reflejan una situación metodológica más que el comportamiento del suelo, por lo que, la interpretación de los resultados fue limitada y no permitió inferir el comportamiento en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico de estos suelos, siendo fundamental continuar con estudios en esta temática.

Materia orgánica

Carbono total: Bajo ambos tipos de vegetación el tenor de carbono total (C) tendió a disminuir de oeste (12,3 g kg⁻¹ bajo pp y 16,6 g kg⁻¹ bajo vn) a este (7,2 g kg⁻¹ bajo pp y 8,7 g kg⁻¹ bajo vn), pasando de bueno a bajo según la clasificación de Colmet Daage y otros (1988a) y Scheffer (citado en MOPT 1992). Al considerar el horizonte-A en particular para vn, esta diferencia oeste este desaparece y se acentúan las diferencias entre pp y vn, sobre todo en el este. El C en el oeste disminuye de 16,1 g kg⁻¹ bajo vn a 11,9 g kg⁻¹ bajo pp y en el este de 17,1 g kg⁻¹ a 8,7 g kg⁻¹, respectivamente (Cuadros 2 y 3). En el extremo oeste no se encontraron diferencias en C en profundidad tanto bajo pp como vn. En el este, se observa, tanto bajo pp como vn una marcada disminución en profundidad, lo que es característico de las zonas semiáridas a áridas encontrándose este tipo de distribución en Patagonia, en particular bajo vegetación de estepa gramínea (Ferrer, 1981). Bajo vn se produciría un importante aporte a nivel radicular por el predominio de gramíneas en la vegetación, generándose una incorporación más homogénea en los horizontes superficiales donde se encontraron la mayor cantidad de raíces (Cuadro 2). La hojarasca que aporta la vegetación de coníferas tiene una alta relación C/N, implicando en un modo simplista una tasa de descomposición de la materia orgánica más lenta y una mayor ganancia de C en la vegetación (Jarvis *et al.*, 1996; Austin and Vitousek 1998). En ambos extremos se observó un menor contenido de C bajo pp que bajo vn, siendo significativo sólo al oeste. Las menores concentraciones de C bajo pp indicarían que el suelo respondió como un ecosistema alterado. Al comparar los contenidos referidos a masas de suelo equivalentes, las diferencias no fueron significativas (Cuadro 4) entre ambos tipos de vegetación tanto al oeste

(pp: 2648 g kg⁻¹ m² m⁻¹ y vn: 3990 g kg⁻¹ m² m⁻¹) como al este (pp: 1592 g kg⁻¹ m² m⁻¹ y vn: 1210 g kg⁻¹ m² m⁻¹), por lo que la respuesta del suelo bajo pino como un sistema alterado no se manifiesta al considerar al suelo como un cuerpo (Cuadros 2, 3 y 4).

Nitrógeno total: La concentración promedio de *N* se mantuvo con la profundidad en el perfil y tendió a ser menor bajo pp que bajo vn tanto al oeste (0,8 vs 1,3 g kg⁻¹) como al este (0,5 vs 1,1 g kg⁻¹) (Cuadros 2 y 3). Los valores encontrados correspondieron a un buen tenor de *N* en el suelo (Shoji *et al.*, 1993). En el oeste la concentración de *N* fue significativamente menor bajo pino pero no en el este y al igual que ocurrió con el *C* el suelo bajo pino respondería como un sistema alterado. Considerando los contenidos expresados como masas equivalentes, la tendencia a un menor contenido de *N* bajo pp se mantuvo, tanto al oeste (165 vs 293 g kg⁻¹ m² m⁻¹) como al este (125 vs 180 g kg⁻¹ m² m⁻¹), no siendo las diferencias significativas en ningún extremo entre ambos usos (Cuadro 4). El tenor de *N* mostró una leve tendencia a disminuir hacia el este tanto bajo estepa como bajo pino (Cuadros 2 y 3). Esta disminución oeste-este acompañó el gradiente de precipitaciones y respondió a la variación entre los sistemas previamente definidos para los extremos de la biosecuencia.

Relación C/N: En el oeste la relación C/N fue 15 bajo pp y 13 bajo vn y en el este fue 15 con pp y 6 con vn, con valores de muy bajos a moderados según Nicolas (citado en MOPT 1992) (Cuadros 2 y 3). En ambos extremos la relación C/N fue mayor bajo pp lo que podría estar relacionado con el tipo de hojarasca que aportan las coníferas y su elevada relación C/N (Duchaufour, 1984; Austin and Vitousek, 1998; Mazzarino *et al.*, 1998). De oeste a este la relación C/N bajo pp se mantuvo constante debido a que el contenido de *N* y de *C* disminuyeron proporcionalmente mientras que una marcada disminución en el tenor de *C* bajo vn al este significó la disminución de la relación C/N (Cuadro 2). La caída de la relación C/N bajo vn podría deberse a que la menor disponibilidad de *C* sería una restricción para el desarrollo de la población de organismos del suelo generando una menor inmovilización de *N* y mayor mineralización. Las diferencias en la relación C/N entre ambos tipos de vegetación no fueron significativas en el oeste mientras que en el este hubo una mayor relación C/N bajo pp (Cuadro 4).

En general las diferencias no fueron suficientes, a nivel de este estudio, para definir la presencia de una fuerte impronta de la vegetación sobre las propiedades de estos suelos, existiendo una influencia conjunta del material de origen y/o el régimen hídrico, notándose que a nivel superficial los pinos estarían afectando el suelo. Se destaca que al tratarse de un estudio de casos se utilizó un bajo número de muestras por lo que los datos a obtener no son generalizables y serán la base para definir futuros estudios que permitan corroborar las tendencias observadas.

CONCLUSIONES

El ecosistema edáfico del extremo oeste de la biosecuencia fue más rico en carbono y más pobre en nutrientes que el del extremo este, variando su reacción de ligeramente ácida a neutra, lo que fue función del gradiente de precipitaciones.

La vegetación implantada de pino ponderosa no generó cambios en la acidez de la solución del suelo ni en la acidez de intercambio a nivel del perfil del suelo, encontrándose una tendencia a disminuir a nivel del horizonte superficial en el extremo oeste.

Al analizar los contenidos de carbono y bases referidos a masas de suelo equivalentes en todo el perfil, el pino aún no los modifica completamente, si bien afecta las concentraciones. Si se considera el contenido de carbono del horizonte superficial en el oeste se mantienen las diferencias observadas en cuanto a la concentración mientras que en el este se amortiguan las diferencias. En cuanto a las bases totales del horizonte superficial en el oeste se invierten las diferencias, pasando a ser mayor bajo pino, mientras que en el este se mantienen las diferencias observadas en cuanto a la concentración. Este análisis relativiza el efecto del pino ponderosa sobre las propiedades consideradas aun a nivel del horizonte superficial.

El suelo bajo pino ponderosa tendió a responder como un sistema alterado cuando se consideraron las concentraciones de *C* y *N*, ya que fueron menores a las determinadas bajo la vegetación nativa, lo que fue acompañado por una disminución de la concentración de las bases, pudiendo incidir desde el pool de nutrientes a la actividad microbiana, y por lo tanto, a la circulación de nutrientes en general.

BIBLIOGRAFÍA

- AUSTIN, A.T. AND VITOUSEK, P.M.** 1998. Nutrient dynamics on a precipitation gradient in Hawai'i. *Oecología*. 113: 519-529.
- BARROS, V.; CORDON, V.; MOYANO, C.L.; MENDEZ, R.J.; FORQUERA, J.C. y PIZZIO, O.** 1983. Cartas de precipitaciones del oeste de las provincias de Río Negro y Neuquén. Primera contribución. Facultad de Ciencias Agrarias, UNC - CENPAT - CONICET. 100 p.
- BESOAIN, E.** 1985. Aluminosilicatos no cristalinos y paracristalinos del suelo. 533-642. En: *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. IICA. Costa Rica.
- BONVISSUTO, G.; SIFFREDI, G.; AYESA, J.; BRAN, D.; SOMLO, R. y BECKER, G.** 1993. Estepas subarbutivo-graminosas de *Mulinum spinosum* y *Poa ligularis*, en el área ecológica de Sierras y Mesetas Occidentales en el noroeste de la Patagonia. 23-30. En: *Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones*. GTZ – INTA, Proyecto LUDEPA - SME.
- BRAN, D.** 1992. Las regiones ecológicas de Patagonia y sus principales formaciones vegetales. 19-29. En: *Primer curso de planificación integral de campos*, Sección I. INTA Bariloche - PRECODEPA.
- BRAUN BLANQUET, J.** 1950. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. H. Blume. Madrid. 820 p.
- BROQUEN, P.; CANDAN, F. y FALBO, G.** 2002. Volcanic ash soils through a climatic biosequence in the Andinopatagonian region, SW Neuquén Argentina. Inédito, en arbitraje en *Geoderma*.
- ; **FALBO, G. y GIRARDIN, J. L.** 2000. Ponderosa pine afforestation and its relationships with soil erosion and sustainability (SW Neuquén-Argentina). *International Symposium. Managing Forest Soils for Sustainable Productivity*. Portugal. 177-179.
- ; **GIRARDIN, J. L. y FRUGONI, M. C.** 1995. Evaluación de algunas propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas asociadas a forestaciones con coníferas exóticas (SO de la provincia de Neuquén, R. Argentina). *Bosque*. 16 (2): 69-79.
- ; 2002. Cambios en las propiedades de suelos Ándicos asociados al reemplazo del bosque nativo por *Pinus ponderosa* Dougl., SO Neuquén, Argentina. Escuela para Graduados. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. Inédito. 238 p.
- COLMET DAAGE, F.; MARCOLIN, A.; LOPEZ, C.; LANCIOTTI, M.; AYESA, J.; BRAN, D.; ANDENMATTEN, E.; BROQUEN, P.; GIRARDIN, J.L.; CORTES, G.; IRISARRI, J.; BESOAIN, E.; SADZAWKA, G.; SEPULVEDA, S.; MASSARO, S.; MILLOT, P. y BOULEAU, P.** 1988a. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del norte de la Patagonia. INTA - ORSTOM S. C. Bariloche, Argentina. 39 p.

- ; **MARCOLIN, A.; LOPEZ, C.; AYESA, J.; BRAN, D.; LANCIOTTI, M.; BROQUEN, P.; CORTES, G.; DESTREMAU, D.; BALLEYDIER, D.; GIRARDIN, J.L.; BOSIO, F.; VAN KONYNEBURG, P.; ANDENMATTEN, E.; MILLOT, G.; VIOLA, M.; BESOAIN, E.; SADZAWSKA, A.; IRISARRI, J.; y SCHMIDT, P.** 1988b. Zonificación del potencial forestal de la cordillera y precordillera. Transecta San Martín de los Andes Paso Hua Hum - Collon Cura INTA - ORSTOM S. C. Bariloche, Argentina. 167 p.
- COPPA, R.A.** 1985. El deterioro del pastizal patagónico. *Presencia*. 1 (2): 7-12.
- CORREA, M.N.** 1988. Flora Patagónica. Tomo VIII, Parte V. Colección Científica del INTA. Buenos Aires. 381 p.
- ; 1998. Flora Patagónica. Tomo VIII, Parte I. Colección Científica del INTA. Buenos Aires. 391 p.
- DUCHAUFOR, P.H.** 1968. L' évolution des Sols. Essai sur la dynamique des profils. Masson. Paris, France. 94 p.
- ; 1984. Edafología 1. Edafogénesis y Clasificación. Masson. España. 493 p.
- ELLERT, B. H. AND BETTANY, J. R.** 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.* 75: 529-538.
- FALBO, G.; BROQUEN, P.; APCARIAN, A.; GIRARDIN, J.; CANDAN, F. Y PELLEGRINI, V.** 2001. Control de la erosión por forestaciones con Pinus ponderosa Dougl. en la transición bosque-estepa, su relación con la sustentabilidad productiva (SO Neuquén, Argentina). En: Actas del V Congreso Latinoamericano de Ecología, CD ROM. San Salvador de Jujuy, Argentina.
- FASSBENDER, H. AND BORNEMISZA, E.** 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. 2° Ed. IICA. Costa Rica. 420 p.
- FERRER, J.** 1981. Propiedades de los suelos de Patagonia. 11-58. En: Primeras Jornadas de Suelos de Patagonia. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- ; **IRISARRI, J. y MENDÍA, M.** 1990. Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén. Volumen 1. Tomo 2 y 3. CFI - COPADE - Prov. NQN. Buenos Aires. 147 y 232 p.
- JARVIS, S.; STOCKDALE, E.; SHEPERD, A. AND POWLSON, D.** 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. *Adv. Agron.* (Ed.). Academic Press. New York. 57: 187-235.
- MAZZARINO, M.J.; BERTILLER, M.; SCHLICHTER, T. AND GOBBI, M.** 1998. Nutrient cycling in patagonian ecosystems. *Ecología Austral*. 8: 167-181.
- MOPT** 1992. Guía para la descripción de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Serie Monografías. MOPT Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Madrid. 809 p.
- MOVIA, C.; OWER, G. Y PEREZ, C.** 1982. Estudio de la vegetación natural. Provincia del Neuquén. Ministerio de Economía y Hacienda. Subsecretaría de Recursos Naturales. 149 p.

- NELSON, D.W. AND SOMMERS, L.E.** 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. 961-1010. In: Spark D.L. *et al.*, (Eds.). Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. S.S.S.A., Inc. USA.
- PEECH, M.** 1965. Exchange acidity. 905-913. In: Black C. A. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. USA.
- QUANTIN, P.** 1972. Les Andosols. Revue bibliographique des connaissances actuelles. Cah. ORSTOM. Sér. Pédo. X (3): 273-301.
- SADZAWKA, A.** 1990. Métodos de Análisis de Suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie La Platina N° 16. INIA Chile. 139 p.
- SAS,** 1997. Institute Inc. Cary NC 275128000 USA.
- SHOJI, S.; NANZYU, M. AND DAHLGREN, R.** 1993. Volcanic Ash Soils. Genesis. Properties and Utilization. Developments in Soil Science 21. Amsterdam. Elsevier. 288 p.
- SOIL SURVEY STAFF** 1992. Keys to Soil Taxonomy. 5th. Ed. AID-USDA. Technical Monograph N°19. Pocahontas Press Inc. Blacksburg Virginia. 591 p.
- ; 1993. Soil Survey Manual Handbook N° 18, 5th Ed. USDA. 436 p.
- SUMNER, M. AND MILLER, W.** 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. 2201-2229. In: Spark D.L. *et al.*, (Eds.). Methods of soil Analysis. Chemical Methods. S.S.S.A., Inc. USA.
- TAN, K.H.** 1993. Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York. 362 p.
- URZUA VERGARA, J. D.** 1991. Desarrollo de las plantaciones forestales del Neuquén y su aprovechamiento industrial. Área Economía Forestal. CIEFAP.
- USDA** 1998. Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service. Revisada por Schoeneberg P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., Broderson W.D. USDA, National Survey Center Lincoln NE. Traducción al español por investigadores del AICET - Instituto de Suelos y Evaluación de Tierras. INTA 2000.
- WADA, K.** 1977. Allophane and Imogolite. 603-633. In: Dixon, J.B. and Weed, S.B. (Editors), Minerals in Soil Environment. S.S.S.A., Inc. USA. Third printing. 909 p.
- ; 1985. Distinctive properties of Andosols. 175-229. In: Advances in Soil Science. Springer Verlag. New York Inc.