

# EFFECTS OF THE INSTALLATION OF A GAS PIPELINE ON SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE SOIL SURFACE AND VEGETATION COVER IN NORTHEASTERN CHUBUT

ESTEBAN KOWALJOW<sup>1\*</sup> & CÉSAR MARIO ROSTAGNO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250. (8400), Bariloche, Río Negro-Argentina. ekowaljow@crub.uncoma.edu.ar

<sup>2</sup>Centro Nacional Patagónico-CONICET. Bv. Almirante Brown s/n (U9120ACF), Puerto Madryn, Chubut-Argentina. rostagno@cenpat.edu.ar \*Autor para correspondencia

Recibido: 22/12/07

Aceptado: 05/05/08

## RESUMEN

En este trabajo describimos el impacto del tendido de un gasoducto y de la reposición parcial del material removido, sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo y sobre la cobertura vegetal en tres sitios ecológicos del nordeste de Chubut. En cada sitio se identificaron 4 zonas diferentes: zona 1, faja desmontada y compactada por el tránsito de maquinaria pesada; zona 2, faja desmontada, con posterior reposición del suelo y la vegetación removidos; y otras dos zonas correspondientes a la estepa adyacente no disturbada: montículos asociados a arbustos y espacios entre montículos. Los mayores valores de densidad aparente se encontraron en los suelos de la zona 1 y en los del entremontículo (1,43 Mg m<sup>-3</sup>). La resistencia a la penetración fue significativamente mayor en las zonas 1 y 2, ambas zonas presentaron valores de resistencia a la penetración superiores a 1 MPa. La tasa de infiltración fue mucho mayor en el montículo (261 mm h<sup>-1</sup>) que en el resto de las zonas. La velocidad de infiltración de la zona 2 (85 mm h<sup>-1</sup>) fue mayor a la de la zona 1 (35 mm h<sup>-1</sup>) y el entremontículo (50 mm h<sup>-1</sup>). Los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno de los suelos de las zonas 1 y 2 fueron similares a los del entremontículo y significativamente inferiores a los del montículo, excepto en la zona 2 de uno de los sitios ecológicos. La remoción de la vegetación y el suelo superficial, y el posterior tránsito de maquinaria pesada durante la instalación del gasoducto produjeron un fuerte impacto sobre las propiedades físicas del suelo. La mayor limitación de los suelos disturbados fue su baja capacidad para incorporar agua, derivada principalmente de su elevada compactación y baja porosidad, lo que explicaría en parte la lenta recuperación de la cobertura vegetal en la zona 1. En ninguno de los tres sitios estudiados, la reposición del material removido por la actividad del desmonte significó una medida de recuperación eficaz, sobre todo, por la baja calidad de los sedimentos extraídos de los horizontes inferiores de la zanja.

**Palabras clave.** Desmonte, Tráfico, Compactación, Tasa de Infiltración, Propiedades Físicas y Químicas del Suelo, Zonas Áridas.

## GAS-PIPELINE INSTALLATION EFFECTS ON SUPERFICIAL SOIL PROPERTIES AND VEGETATION COVER IN NORTHEASTERN CHUBUT

### ABSTRACT

In this work we describe the impact of a gas-pipeline installation and the replacing of the material removed in part of the clear-cutting, on some physical and chemical properties of the soils and vegetation in three ecological sites of Northeastern Chubut. In these sites we identified four different areas: area 1, clear-cut strip, where the traffic of heavy machinery was intense; area 2, clear-cut strip, with soil and vegetation replaced; and other two areas in the undisturbed adjacent steppe: mounds associated to shrubs and mound interspaces. The highest bulk densities were recorded in area 1 and in the mound interspaces (1.43 Mg m<sup>-3</sup>). The penetrometer resistance was significantly higher in the areas 1 and 2, recording values higher than 1 MPa. The infiltration rate was much higher in the mound (261 mm h<sup>-1</sup>) than in the other areas. The infiltration rate of area 2 (85 mm h<sup>-1</sup>) was higher than that of area 1 (35 mm h<sup>-1</sup>) and the mound interspaces (50 mm h<sup>-1</sup>). Total nitrogen and organic carbon content in soils of the areas 1 and 2 were similar to those of the mound interspaces and significantly lower than those of the mound, except in the area 2 of one ecological site. Clear-cut and topsoil removal, and the subsequent traffic of heavy machinery caused by underground gas-pipeline installation produced a strong impact on the physical properties of these soils. The main limitation in the highly disturbed soils was the decrease in the infiltration rate, mainly due to high compaction and low porosity. This may in part explain the slow vegetation cover recovery in the area 1. The replacement of the stripped sediment and vegetation on the disturbed strip did not improve the recovery of the vegetation cover. It was mainly due to the low quality of the sediments extracted from the pipeline ditch.

**Key words.** Clear-cutting, Traffic, Compaction, Infiltration Rate, Soil Physical and Chemical Properties, Arid Lands.

## INTRODUCCIÓN

El transporte de fluidos energéticos a largas distancias generalmente se realiza mediante el tendido de redes que parten desde los yacimientos (pozos petroleros o de gas) hasta las refinerías o los sitios de consumo. En el caso del transporte de gas, este se lleva a cabo mediante el tendido de gasoductos que, construidos correctamente, surgen como la opción más favorable desde el punto de vista ambiental (Knoepfel, 1996).

El mayor impacto ambiental originado por el tendido de un gasoducto se produce durante su instalación, debido a la remoción de grandes cantidades de suelo superficial y vegetación y al intenso tránsito de maquinarias pesadas. Cuando no se adoptan medidas adecuadas de recuperación, esta actividad puede producir efectos sustanciales y a largo plazo en las propiedades físicas y químicas del suelo, los que a su vez afectan las condiciones para el establecimiento y crecimiento de la vegetación. Una medida correctiva que suele implementarse al finalizar estas obras, y que tiene como objetivo disminuir el impacto ambiental, es depositar el material vegetal y el suelo removido sobre la zona disturbada luego de la colocación de la cañería.

La remoción de la vegetación y del suelo superficial en la franja de instalación de los gasoductos reduce los contenidos de nutrientes y produce la degradación de las propiedades físicas de los suelos, afectando negativamente el potencial productivo de los mismos y la capacidad de recuperación de la vegetación (Woodward, 1996). En general, la disminución en el establecimiento y el crecimiento de la vegetación se atribuye a cambios asociados con la compactación del suelo, incluyendo bajas tasas de infiltración, disminución en el flujo de nutrientes e incrementos en la resistencia del suelo a la penetración de las raíces (Gracen & Sands, 1980; Castellano & Valone, 2007). Igualmente las pérdidas de materia orgánica y nutrientes ocasionadas por el decapitamiento del suelo superficial influirían negativamente en el desarrollo de la vegetación, sobre todo en regiones semiáridas, donde los contenidos de materia orgánica y de nutrientes son escasos y se concentran en los primeros centímetros superficiales de suelo (Barth & Klemmedson, 1978).

En las zonas áridas y semiáridas, la capacidad de los suelos para incorporar y almacenar el agua de lluvia es una función clave, ya que regula la disponibilidad de agua para las plantas, la cantidad de agua perdida por escurrimiento superficial y el consiguiente riesgo de erosión hídrica. En estos ambientes, donde la actividad biológica está fuertemente limitada por la disponibilidad hídrica, la tasa de infiltración y la capacidad de almacenar agua parecieran ser los factores primarios que limitan el desarrollo de la vegetación y la rehabilitación de los suelos compactados.

En la Patagonia, la erosión de los suelos, acelerada a partir de la introducción del pastoreo ovino a finales del siglo XIX, ha sido reconocida como el principal proceso de degradación de los pastizales naturales (Soriano, 1983; Ares *et al.*, 1991). En los últimos años, el incremento en actividades de exploración y explotación petrolera y minera ha aumentado el área afectada por procesos de degradación de hábitat (Fiori & Zalba, 2003). Si bien estas actividades, que incluyen prácticas de desmonte y circulación de maquinarias pesadas, afectan la calidad de los suelos y la posterior recuperación de la vegetación, es muy poca la información disponible para poder determinar sus impactos en los distintos ecosistemas de la estepa patagónica. El objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto del trazado de un gasoducto en la calidad del suelo superficial y en la recuperación de la cobertura vegetal de tres sitios ecológicos del noreste de la provincia de Chubut.

Considerando la información precedente planteamos las siguientes hipótesis: (i) las tareas de desmonte, al remover parte del suelo superficial, de mayor fertilidad, y la circulación de maquinaria pesada con un alto impacto sobre las propiedades físicas del suelo, darán como resultado suelos con menores contenidos de nutrientes, elevadas resistencia a la penetración y bajas tasas de infiltración, y (ii) la reposición, sobre el área disturbada, del suelo y el material vegetal removido, al aportar un material rico en materia orgánica, mejorará las propiedades físico-químicas de los suelos favoreciendo la recuperación de la vegetación. Estos efectos serán similares independientemente del tipo de suelo y de las especies arbustivas dominantes en el sistema.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el noreste de la provincia de Chubut, Argentina. El clima es árido, templado y ventoso, la temperatura media anual es de 13,5°C y la precipitación media anual varía entre 150 y 170 mm (Barros & Rivero 1982). Los suelos dominantes son de textura areno franca a franco arenosa y han sido clasificado como Haplocalcides, Petrocalcides y Haplargides (Rostagno & del Valle, 1988). Fitogeográficamente el área de estudio corresponde a la Provincia del Monte (Cabrera, 1953). La vegetación dominante es una estepa arbustiva de jarilla (*Larrea divaricata*), brusquilla (*Prosopidastrum globosum*) quilembai (*Chuquiraga avellanadae*) y molle (*Schinus polygamus*) con un tapiz herbáceo donde dominan la flechilla (*Stipa tenuis*), el coirón poa (*Poa ligularis*) y el coirón amargo (*Stipa speciosa*) (Beeskow *et al.*, 1987).

En el mes de marzo de 1997 la Empresa Transportadora de Gas del Sur S.A (TGS) construyó el gasoducto de alimentación de la planta Aluar que se ramifica del gasoducto principal San Martín a los 42° 50' S; 65° 41' W (km 0) y recorre unos 60 km hasta la planta Aluar ubicada a los 42° 44' S; 65° 07' W (km 60), en el parque industrial de la ciudad de Puerto Madryn. Previo a la instalación del gasoducto, se produjo la erradicación de la vegetación (desmonte) y parte del suelo (capa de 10 a 15 cm superficiales) en un área de aproximadamente 16 metros de ancho, a lo largo de los 60 km del gasoducto. En la parte central del área desmontada se colocó la cañería a aproximadamente 1,5 metros de profundidad; tanto el suelo que se extrajo de esta zanja como el que fue removido de los horizontes superficiales junto a los restos de la vegetación removida fueron depositados sobre una franja de aproximadamente 6 metros de ancho (Zona 2), ubicada al norte del camellón que cubre el gasoducto. En el área restante, ubicada al sur del camellón, el suelo sufrió una severa modificación debido al decapitamiento del estrato superficial y la posterior compactación causada por el tránsito de camiones y máquinas pesadas (Zona 1) (Fig. 1).

### Sitios de muestreo y colección de datos

Se seleccionaron tres sitios de muestreo a lo largo del gasoducto que representan las unidades de suelo y vegetación dominantes (sitios ecológicos):

El **sitio A** está ubicado a 15,5 km del extremo oeste del gasoducto y representa el nivel más alto del pedimento mesetiforme.

Las especies arbustivas dominantes son *Chuquiraga hystrix*, *Lycium chilense*, *Atriplex lampa*, *Chuquiraga avellanadae* y *Larrea divaricata*; el estrato herbáceo está compuesto principalmente por *Poa ligularis* y *Stipa speciosa*. La cobertura vegetal estimada es del 30%. Los suelos dominantes son Haplocalcides Típicos.

El **sitio B** se encuentra a 45 km del extremo oeste del gasoducto, en la parte más alta de la ladera de un paleo-cauce con exposición este. La especie arbustiva dominante es *C. avellanadae* y el estrato herbáceo se compone de *P. ligularis* y *Stipa tenuis*, principalmente. La cobertura vegetal estimada es del 35%. Los suelos son de textura franco franco en los primeros 20-25 cm de profundidad y continúa un horizonte sub-superficial (horizonte argílico) de textura franco arcillo arenosa. En general, a lo largo de todo el perfil y en profundidad, el suelo es calcáreo a fuertemente calcáreo, y fue clasificado como Haplargides Típico.

El **sitio C** se encuentra próximo a la ciudad de Puerto Madryn, a 54 km del extremo oeste del gasoducto, y está ubicado en la ladera alta de un paleo-cauce con exposición oeste. Las especies arbustivas dominantes son *L. divaricata*, *Prosopidastrum globosum* y *Schinus johnstonii*; en el estrato herbáceo dominan *P. ligularis* y *S. tenuis*. La cobertura vegetal estimada es del 45%. Los suelos dominantes son Haplocalcides Xerófilos y presentan horizontes sub-superficiales enriquecidos con carbonatos y yeso.

Entre enero y febrero del año 2000 se recolectaron muestras de suelo en cuatro zonas diferentes dentro de cada uno de los sitios seleccionados: zona 1 (faja de tránsito de maquinaria pesada)

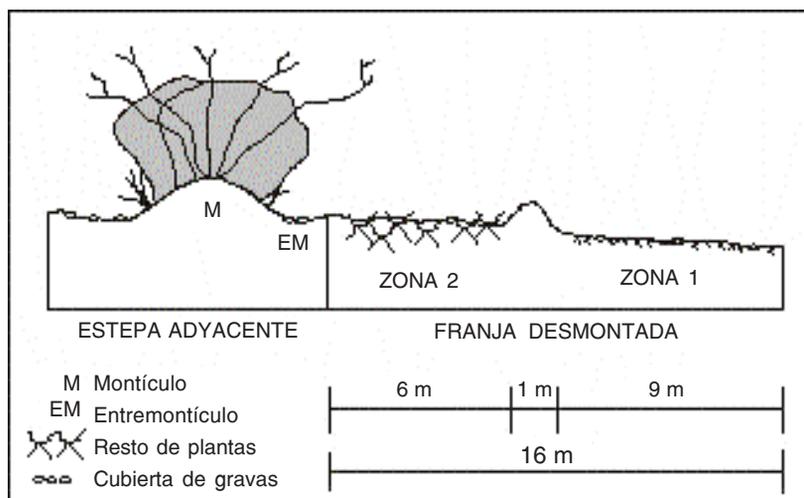


Figura 1. Detalle de la traza del gasoducto donde se diferencia el área desmontada y compactada (zona 1), el área donde se depositó el suelo y la vegetación removidos (zona 2) y la estepa adyacente con los montículos asociados a los arbustos (M) y los espacios entremontículos (EM).

Figure 1. Diagram showing the compacted strip where the vegetation was removed (zone 1), the strip where the removed plant and soil were replaced (zone 2) and the adjacent steppe with the mound associated to shrubs (M) and mound interspaces (EM).

da, ubicada al sur del camellón del gasoducto), zona 2 (área degradada, con deposición del suelo y el material vegetal removido, ubicada al norte del camellón del gasoducto), y otras dos zonas correspondientes a la estepa adyacente no disturbada: montículos (suelo debajo de los arbustos) y entre-montículos (suelo en los espacios entre los arbustos) (Fig. 1).

En cada una de las zonas definidas dentro de los 3 sitios ecológicos se tomaron cinco muestras de suelo de 0 a 5 cm de profundidad para su posterior análisis físico y químico.

## Métodos de análisis

La tasa de infiltración, la resistencia a la penetración y la densidad aparente (DA) se determinaron mediante el método del cilindro (Bertrand, 1965), el empleo de un penetrómetro de cono (Davidson, 1965) y la técnica del sacabocados (Blake, 1965), respectivamente. Las determinaciones de tasa de infiltración y resistencia a la penetración se realizaron cuando los suelos se encontraban secos con rangos de humedad gravimétrica entre 2 y 4%.

En muestras de suelo secas al aire y tamizadas por 2 mm se determinó: nitrógeno total ( $N_t$ ) por la técnica de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), el contenido de carbono orgánico (CO) por el procedimiento de Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1982), y el fósforo extractable con  $\text{NaHCO}_3$  (P-Olsen) por colorimetría (Olsen & Sommers, 1982). El pH y la conductividad eléctrica del extracto de saturación se determinaron utilizando un pH-metro y un conductímetro, respectivamente.

Entre septiembre y octubre del 2000, se determinó la cobertura vegetal en las cuatro zonas de cada sitio. El porcentaje de cobertura se obtuvo promediando 50 cuadrados de 0,25 m<sup>2</sup>, dispuestos a intervalos de 1 m, a lo largo de una transecta de 50 m de largo (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). En cada una de las zonas se colocaron 5 transectas (n=5).

Los datos de cada sitio fueron sometidos al análisis de la varianza (ANOVA), controlando los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las medias se compararon utilizando el test de Tukey ( $P < 0,05$ ). Cuando no se cumplieron los supuestos del análisis, los datos fueron transformados por alguna de las siguientes funciones:  $\log_2$ ,  $\log_{10}$  y la raíz cuadrada. Si los supuestos no se cumplieron con las transformaciones, se utilizó el análisis no paramétrico de Kruskal Wallis. Para los análisis se utilizó el programa Statistica (StatSoft, 1984-2003).

Para resumir la información de los diferentes sitios ecológicos se realizó un análisis de componentes principales (ACP) (Martens & Naes, 1989).

## RESULTADOS

La DA del suelo de los tres sitios estudiados fue significativamente menor en el montículo que en las tres zonas restantes. Los mayores valores de DA se encontraron en los suelos de la zona 1 y en los del entremontículo. Los suelos más resistentes a la penetración, con valores siempre superiores a 1 MPa, se encontraron en las

zonas 1 y 2. La tasa de infiltración fue mayor en el montículo que en el resto de las zonas. Con excepción del sitio B, las tasas de infiltración de la zona 2 fueron mayores a las de la zona 1 y a las del entremontículo (Tabla 1).

El pH del extracto de saturación del suelo varió de ligeramente a moderadamente alcalino. Los valores de pH de los sitios B y C presentaron un comportamiento de acuerdo a lo esperado, esto es, un aumento en las dos zonas afectadas por la remoción del horizonte superior (zona 1) y por la reposición del material de horizontes profundos (zona 2) respecto al pH del entremontículo y del montículo. En los tres sitios la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CE) fue inferior a 4 ds m<sup>-1</sup>, valor sugerido por Richards (1953) para separar suelos salinos de no salinos. Sin embargo se observó un elevado contenido de sales en la zona decapitada (zona 1) del sitio A, cabe aclarar que el desvío estándar de estos datos fue superior a su media, es posible que este patrón se deba a la presencia en forma irregular de un horizonte salino sub-superficial, expuesto en superficie por la remoción del horizonte superior de estos suelos (Tabla 2).

En general, el montículo presentó los mayores valores de CO, el entremontículo los menores, y las zonas disturbadas (1 y 2) presentaron valores intermedios. A diferencia de lo ocurrido en los sitios A y B, el contenido de CO en la zona 2 del sitio C fue significativamente menor al de la zona 1 (Tabla 2). Esto último posiblemente se debe a que en la zona 2 del sitio C se depositó una gran cantidad de material de los horizontes profundos provenientes de la zanja donde se colocó el gasoducto. Estos sedimentos presentan altos contenidos de yeso y muy bajos contenidos de materia orgánica.

Los contenidos de  $N_t$  de los suelos de las zonas 1 y 2 fueron similares a los del entremontículo y significativamente inferiores a los del montículo, excepto en la zona 2 del sitio A. En los tres sitios muestreados, los mayores contenidos de nitrógeno siempre se encontraron en el montículo (Tabla 2).

El contenido de fósforo extractable (P-Olsen) en el sitio A fue mayor al de los sitios B y C. En el sitio A, los menores valores de fósforo extractable se encontraron en el entremontículo y no se encontraron diferencias significativas entre ninguna de las zonas. En el sitio B hubo diferencias significativas entre el montículo y la zona 1, y en el sitio C el contenido de fósforo disponible fue superior en el montículo respecto al resto de las zonas (Tabla 2).

Se observaron correlaciones significativas entre las variables edáficas (Tabla 3). El pH y la CE correlacionaron significativamente entre sí, pero en general, tuvieron bajas correlaciones con el resto de las variables. La mayor correlación ( $r = -0,80$ ) fue entre la resistencia a la penetración y la velocidad de infiltración, y en segundo lugar el

Tabla 1. Propiedades físicas de los suelos.  
Table 1. Soil physical properties.

Zona		DA (Mg m <sup>-3</sup> )	Resistencia a la penetración (MPa)	Tasa de infiltración (mm h <sup>-1</sup> )
Sitio A	1	1,4 (0,04) a	1,3 (0,01) a	18,8 (10,7) c
	2	1,1 (0,04) b	1,1 (0,03) a	118,1 (54,0) b
	M	1,0 (0,06) c	0,5 (0,11) b	199,6 (64,3) a
	EM	1,4 (0,04) a	0,9 (0,23) ab	56,5 (26,5) bc
Sitio B	1	1,4 (0,08) a	1,3 (0,03) a	63,1 (18,1) b
	2	1,2 (0,13) b	1,2 (0,05) a	57,0 (14,1) b
	M	1,1 (0,08) c	0,6 (0,18) c	180,8 (78,3) a
	EM	1,4 (0,06) ab	0,8 (0,11) b	31,8 (27,1) b
Sitio C	1	1,5 (0,10) a	1,2 (0,10) a	21,8 (18,4) c
	2	1,3 (0,08) b	1,1 (0,01) a	79,8 (15,2) b
	M	1,1 (0,04) c	0,3 (0,17) c	402,8 (64,1) a
	EM	1,5 (0,09) a	0,9 (0,15) b	60,5 (31,2) bc

Diferentes letras muestran diferencias significativas entre zonas para cada sitio ( $p < 0,05$ ).  
Valores entre paréntesis indican el desvío estándar.  
DA: Densidad Aparente; M: Montículo; EM: Entremontículo.

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos.  
Table 2. Soil chemical properties.

Zona		pH	CE (ds m <sup>-1</sup> )	CO (g kg <sup>-1</sup> )	N <sub>t</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	P-Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )
Sitio A	1	7,8 (0,7) b	15,1 (16,1) a	4,7 (1,9) ab	0,6 (0,1) b	10,6 (3,6) a
	2	8,8 (0,1) a	1,5 (0,4) a	5,2 (2,4) ab	0,9 (0,1) a	12,4 (0,7) a
	M	8,5 (0,1) ab	1,0 (1,0) a	7,4 (3,7) a	1,2 (0,4) a	17,3 (10,7) a
	EM	8,6 (0,3) a	3,6 (4,4) a	2,2 (0,9) b	0,5 (0,1) b	8,4 (3,2) a
Sitio B	1	8,8 (0,1) a	1,5 (1,1) a	5,0 (1,8) ab	0,5 (0,1) b	2,5 (2,2) b
	2	8,4 (0,2) b	1,0 (0,1) a	5,9 (2,3) ab	0,6 (0,1) b	3,9 (1,5) ab
	M	7,6 (0,3) c	0,6 (0,1) a	8,1 (3,6) a	1,1 (0,2) a	6,1 (2,0) a
	EM	7,9 (0,2) c	0,4 (0,2) a	2,6 (0,9) b	0,5 (0,1) b	4,0 (1,2) ab
Sitio C	1	8,4 (0,1) a	0,9 (0,6) b	6,5 (1,7) ab	0,6 (0,2) b	4,9 (1,8) ab
	2	8,3 (0,1) a	0,8 (0,4) b	3,5 (1,4) c	0,4 (0,1) b	3,0 (0,7) b
	M	7,9 (0,1) c	2,2 (0,7) a	11,0 (3,4) a	1,0 (0,3) a	8,3 (2,9) a
	EM	8,1 (0,1) b	0,3 (0,1) c	4,4 (1,1) bc	0,4 (0,1) b	4,7 (1,2) ab

Diferentes letras muestran diferencias significativas entre zonas para cada sitio ( $p < 0,05$ ).  
Valores entre paréntesis indican el desvío estándar.

CE: Conductividad Eléctrica; CO: Carbono Orgánico; N<sub>t</sub>: Nitrógeno total; M: montículo; EM: entremontículo.

Tabla 3. Matriz de correlaciones entre las propiedades químicas y físicas del suelo.

Table 3. Correlation matrix for chemical and physical soil properties.

	pH	CE	DA	RES	INF	CO	P-Olsen	N <sub>t</sub>
pH	1,00							
CE	-0,41**	1,00						
DA	-0,00	0,16	1,00					
RES	0,35*	0,20	0,52**	1,00				
INF	-0,14	-0,11	-0,59**	-0,80**	1,00			
CO	-0,15	-0,06	-0,38**	-0,47**	0,63**	1,00		
P-Olsen	0,03	0,22	-0,47**	-0,24	0,28	0,30*	1,00	
N <sub>t</sub>	0,00	-0,08	-0,71**	-0,50**	0,58**	0,74**	0,71**	1,00

\* significativas a un nivel 5%; \*\* significativas a un nivel del 1%.

CE: Conductividad Eléctrica; DA: Densidad Aparente; RES: Resistencia a la Penetración; INF: Tasa de Infiltración; CO: Carbono Orgánico; N<sub>t</sub>: Nitrógeno total.

CO con el N<sub>t</sub> ( $r=0,74$ ). La velocidad de infiltración estuvo alta y negativamente relacionada a la resistencia a la penetración, la que explicó el 71% de la variación de aquella (Fig. 2).

El primer ACP, realizado con los datos de todas las zonas, sitios y repeticiones (Fig. 3), mostró que el suelo del montículo se separa del resto de las zonas influenciado por mayores valores de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo disponible y velocidad de infiltración, y por menor densidad aparente y resistencia a la penetración. Los datos de los montículos no muestran una clara agrupa-

ción probablemente debido a que, al no tener en cuenta el tipo de arbusto en el muestreo de suelos, los suelos provienen de montículos originados por diferentes arbustos. En la figura se observan los dos primeros ejes que explican un 75,4% de la inercia total; para el análisis solo se utilizaron como variables activas el carbono orgánico, nitrógeno, fósforo disponible, densidad aparente, velocidad de infiltración y resistencia a la penetración; el pH y la conductividad eléctrica se ingresaron como variables ilustrativas por no haber correlacionado con el resto de las variables y no aportar claridad al análisis.

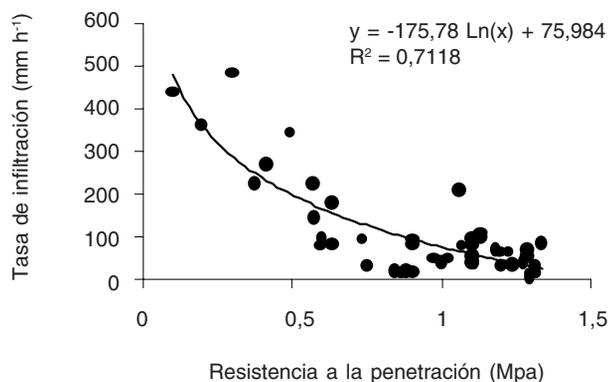
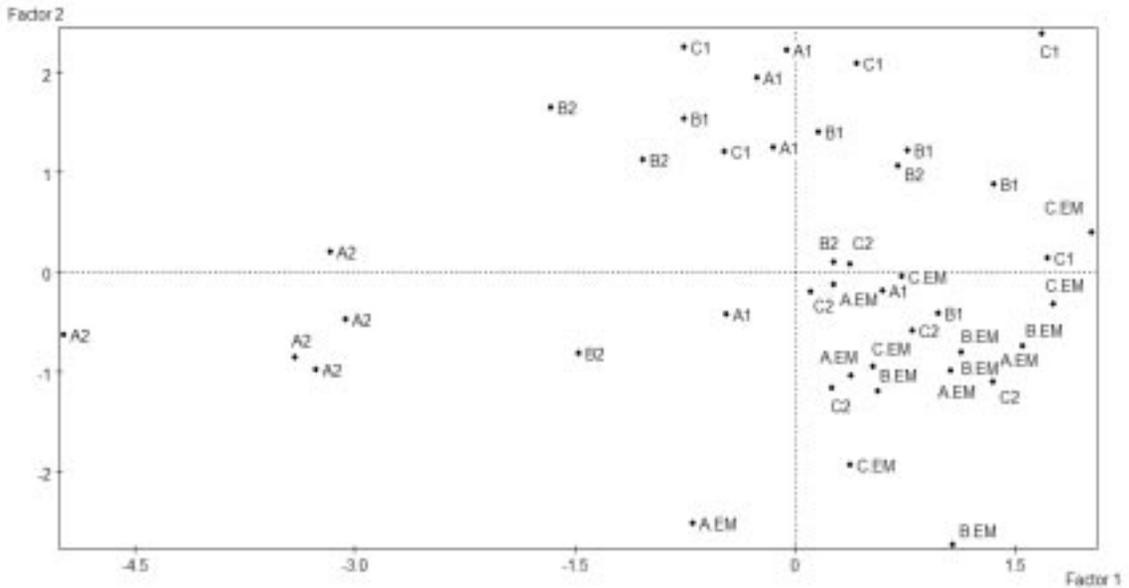


Figura 2. Regresión logarítmica entre la resistencia a la penetración y la tasa de infiltración.

Figure 2. Logarithmic regression between penetration resistance and soil infiltration rate.



a)



b)

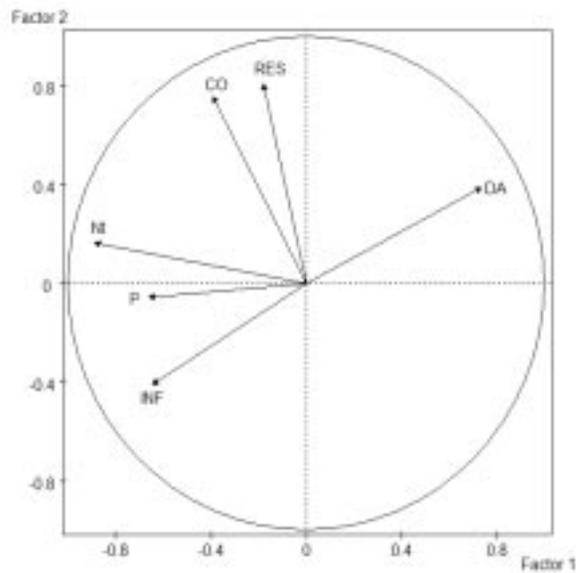


Figura 4. Análisis de componentes principales que incluye los datos del entremontículo, zona 1 y zona 2. La resistencia a la penetración, tasa de infiltración, densidad aparente, carbono orgánico, nitrógeno y fósforo disponible se ingresaron como variables activas. Los datos pertenecientes a los suelos del montículo se ingresaron como ilustrativos.

Figure 4. Principal component analysis (PCA) including data of intermound area, zone 1 and zone 2. Penetration resistance, infiltration rate, bulk density, organic carbon, nitrogen and available phosphorous were considered active variables. Soil values of mound areas were considered illustrative

a) Individuos activos, la letra inicial indica el sitio ecológico (A, B o C), luego de la primer letra se especifican solo tres de las cuatro zonas de cada sitio (1, 2 y EM).

b) Variables activas. INF: velocidad de infiltración; DA: densidad aparente; RES: resistencia a la penetración; CO: carbono orgánico; P: fósforo disponible; N<sub>t</sub>: nitrógeno total.

El segundo ACP se realizó con el objetivo de observar como se agrupan los datos sin la influencia del suelo del montículo. Este análisis separó los suelos de la zona 2 del sitio A, influenciados por mayores contenidos de fósforo disponible, nitrógeno y carbono orgánico y por mayores velocidades de infiltración que el resto de los suelos (Fig. 4). Los suelos de la zona 2 del sitio C, se agruparon en general con los suelos del entremontículo, con los que comparten bajos contenidos de CO y  $N_t$  y baja resistencia a la penetración. Por último, los suelos de la zona 2 del sitio B se agruparon con los suelos de la zona 1 de los tres sitios, influenciados por mayores valores, respecto a los suelos del entremontículo, de resistencia a la penetración, CO y  $N_t$ . En la figura se observan los dos primeros ejes que explican un 65,2% de la inercia total, las variables activas fueron las mismas que en el primer ACP y los datos del montículo se ingresaron al análisis como ilustrativos.

El porcentaje de cobertura vegetal fue siempre significativamente mayor en la zona no disturbada (estepa adyacente) que en las zonas 1 y 2, y siempre significativamente mayor en la zona 2 respecto a la zona 1 (Fig. 5).

## DISCUSIÓN

### Propiedades físicas

El desmonte, práctica que generalmente va acompañada por la remoción de suelo superficial, y el posterior tránsito de maquinaria pesada, producen un fuerte impacto sobre las propiedades físicas del suelo. Los suelos de los ecosistemas áridos y semiáridos generalmente presentan un marcado gradiente vertical en su contenido de materia orgánica, nutrientes y en sus propiedades físicas (Charley & Cowling, 1968; Rostagno *et al.*, 1991). Bajo estas condiciones, el desmonte puede afectar significativamente las propiedades del suelo remanente por dos razones: 1) por remoción directa de la capa de suelo más rica en nutrientes, y 2) porque expone horizontes subsuperficiales con fuertes limitaciones físicas y químicas. Además, durante y después del desmonte, el tránsito de maquinarias pesadas puede aumentar la compactación del suelo que se manifiesta en aumento de la resistencia a la penetración y la densidad aparente, y disminución de la porosidad total y la macroporosidad (Richard *et al.*, 2001; Pagliai *et al.*, 2003).

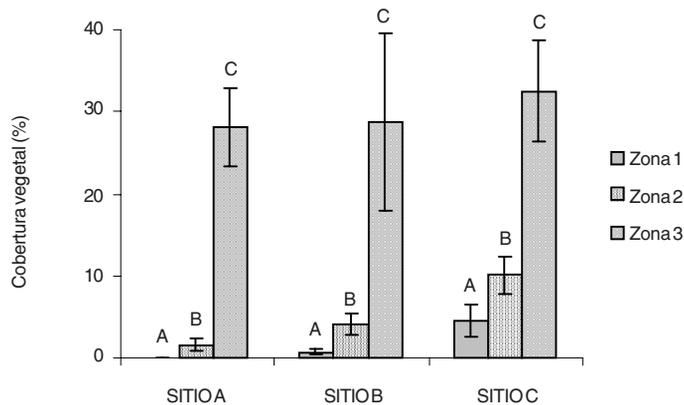


Figura 5. Cobertura vegetal total.

Figure 5. Total vegetal cover.

La zona 3 pertenece a la estepa adyacente en cada uno de los sitios (promedio entre M y EM).

Diferentes letras muestran diferencias significativas entre zonas para cada sitio ( $p < 0,05$ ).

Los suelos de la zona 1, afectada tanto por el desmonte como por el tránsito de maquinaria pesada, mostraron, en los primeros 5 cm de suelo, los valores más altos de densidad aparente y resistencia a la penetración en los tres sitios ecológicos (Tabla 1). La tasa de infiltración mostró un patrón similar en los sitios A y C. En contra de lo esperado, en el sitio B, la tasa de infiltración de la zona 1 no mostró diferencias significativas respecto a la zona 2, faja donde se repusieron los restos vegetales y el suelo removido por el desmonte.

Los cambios en la porosidad total, generalmente relacionados a una disminución de la macroporosidad (Panini *et al.*, 1997) por efectos del aumento de la densidad del suelo, explicarían la baja tasa de infiltración de los suelos de la zona 1. En las zonas áridas, donde la recuperación natural de la vegetación está fuertemente influenciada por la disponibilidad de agua en el suelo, la tasa de infiltración representa un indicador muy sensible de la calidad de los suelos en cuanto sustrato para el crecimiento de la vegetación. En términos más generales, resulta también un buen indicador del riesgo de erosión hídrica ocasionada por fuertes eventos de escurrimiento, con la consecuente remoción de nutrientes, mantillo y propágulos.

La elevada asociación entre la tasa de infiltración y la resistencia a la penetración (Fig. 2), nos permite sugerir el empleo de esta última variable, de fácil y rápida determinación, para predecir la tasa de infiltración de los suelos de los sitios estudiados.

La remoción del suelo superficial por efectos del desmonte y los cambios inducidos en las propiedades físicas del suelo remanente son comparables a los efectos de la erosión acelerada asociada a un disturbio crónico y de menor impacto como es el pastoreo ovino extensivo.

Así, en un área cercana al gasoducto, con una larga historia de pastoreo ovino, Rostagno (1989) observó que la tasa de infiltración de los suelos erosionados se había reducido un orden de magnitud respecto al suelo no erosionado. De todas maneras, los efectos del pastoreo sobre las propiedades hidrológicas de los suelos son de más lenta manifestación comparados a los disturbios de alta intensidad asociados a las tareas de desmonte.

Luego de un disturbio, es importante identificar cuáles son los procesos que se ven mayormente afectados y de que manera actúan en la dinámica de la recuperación del suelo y la vegetación. En la zona 1, donde el tránsito de maquinaria pesada afectó las propiedades físicas de los suelos, la capacidad del suelo para incorporar y almacenar el agua se ven severamente limitadas. Solamente luego de la rehabilitación de la estructura del suelo

superficial, se podrán recuperar otras funciones relacionadas al sustento de la vegetación y el ciclado de nutrientes.

### Propiedades químicas

En el suelo, la estrecha relación existente entre el ciclo del agua y el de nutrientes (Cowling, 1978) tiene como consecuencia que al modificarse la capacidad de los suelos para incorporar y almacenar agua, también se vea limitada la disponibilidad de nutrientes. Si bien los suelos de la zona 1 tienen contenidos de materia orgánica y en algunos casos de fósforo extractable (sitios A y C) similares a los de los suelos del montículo, sus propiedades físicas estarían limitando la disponibilidad de nutrientes y con ello la recuperación de la vegetación y los suelos.

West (1989) comentó que si uno cambiara radicalmente la estructura de las áreas dominadas por arbustos, por ejemplo por la remoción directa de los mismos, se encontraría con un ambiente más homogéneo pero en el cual la productividad sería más baja que la situación original debido a que los nutrientes del suelo se dispersarían en un área mayor. Nuestros resultados indican que el desmonte produce en parte este efecto de homogeneización ya que en general los contenidos de CO y nutrientes de la zona 2 y en menor medida de la zona 1 tienen valores intermedios entre los suelos del entremontículo y el montículo.

La reposición del suelo y el material vegetal removido sobre la zona 2 no tuvieron los efectos esperados. Por un lado, no se registró un aumento considerable en la concentración de nutrientes respecto a la zona 1, y por otro lado, su efecto no fue independiente del sitio ecológico. Esto se debería en parte a que cuando se realiza la actividad de reposición, no se controla que la fracción de suelo que se deposita en superficie sea la proveniente de los horizontes superficiales del suelo original, donde se localizan las mayores concentraciones de nutrientes. Las características del sitio ecológico seleccionado, como la comunidad vegetal dominante y el tipo de suelo, podrían también estar relacionadas a las diferencias entre la zona 2 de los distintos sitios (Milchunas *et al.*, 2000). Así las concentraciones de nitrógeno, carbono orgánico y fósforo extractable registrados en la zona 2, no tuvieron diferencias significativas con el montículo en el sitio A, fueron muy similares a la zona 1 en el sitio B, y en algunos casos fueron menores a las de la zona 1 en el sitio C.

El análisis de componentes principales resultó una herramienta útil para observar que el suelo de los montículos se diferencia claramente del resto de los suelos analizados (Fig. 3), esta separación se ve influenciada por mayores contenidos de nutrientes y CO, una elevada ve-

locidad de infiltración y menor resistencia a la penetración y densidad aparente. Por otro lado, también nos permite observar las diferencias entre la zona 2 de los distintos sitios (Fig. 4) discriminando cuales son las principales variables que establecen este patrón.

### Recuperación de la cobertura vegetal

La recuperación de la cobertura vegetal se vio severamente afectada por el disturbio. A casi tres años de la construcción del gasoducto los porcentajes de cobertura vegetal siguen siendo muy bajos en relación a los de la estepa natural adyacente a cada sitio (Fig. 5).

Observamos que existe una tendencia a que los porcentajes de cobertura vegetal de ambas zonas afectadas (1 y 2) sean bajos en el sitio A, intermedios en el sitio B y elevados en el sitio C. De acuerdo a nuestros datos no habría una relación entre este patrón y el contenido de nutrientes del suelo en cada uno de los sitios, ya que los suelos de la zona 2 con menores concentraciones de nitrógeno y fósforo extractable, se encuentran en el sitio C que es el que presenta porcentajes de cobertura vegetal más elevados. Tampoco se observó una relación clara con las variables físicas del suelo ya que no hay grandes variaciones entre los valores de las zonas 1 y 2 en los tres sitios ecológicos. Una posible explicación del patrón observado, sería la presencia o ausencia de determinadas especies vegetales pioneras en la composición de la vegetación de los diferentes sitios ecológicos. La flechilla (*Stipa tenuis*) produce una gran cantidad de semillas que tienen un elevado poder germinativo (Mayor, 2003). Esta especie domina el estrato herbáceo de las comunidades presentes en los sitios B y C y fue la especie que se instaló en mayor proporción en la zona 1 y 2 de estos mismos sitios. Probablemente la baja densidad de esta especie en el sitio A está relacionada a las bajas coberturas vegetales de este sitio.

Finalmente, podemos concluir que el desmonte y el posterior tránsito con maquinaria pesada producen un aumento en la densidad aparente y la resistencia a la penetración, lo que limita la infiltración de agua al suelo. Cuando se produce un disturbio de estas características, se deberían implementar técnicas de rehabilitación para disminuir la compactación de los suelos y/o retener el agua (*e.g.*, poceado o surcos perpendiculares a la pendiente). La deposición del suelo y del material vegetal removido sobre el área desmontada, sin controlar las características de los horizontes subsuperficiales llevados a la superficie, no surge como una técnica que disminuya considerablemente el impacto del desmonte y aumente rápidamente la calidad del suelo.

Por último, el establecimiento y desarrollo de la vegetación sobre las fajas desmontadas estarían relacionados a la intensidad del disturbio y probablemente a la disponibilidad de propágulos de especies vegetales con la capacidad de instalarse en suelos compactados.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Alicia Toyos por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio y a María Julia Mazzarino por sus valiosas sugerencias sobre el manuscrito. El trabajo fue financiado con fondos del "Proyecto de Revegetación de la Traza del Gasoducto de Alimentación de la Planta ALUAR" realizado por la Empresa Transportadora Gas del Sur (TGS) y se realizó en la Unidad de Investigación en Ecología Terrestre del Centro Nacional Patagónico (CENPAT-CONICET).

### BIBLIOGRAFÍA

- Ares, J; AM Beeskow; M Bertiller; M Rostagno & M Irisarri *et al.* 1991. Structural and Dynamic Characteristics of Overgrazed Lands of Northern Patagonia, Argentina. *In: A Breymer (ed.) Managed Grasslands.* Elsevier Science Publishers. Amsterdam. 7 Pp. 149-175
- Barros, V & MM Rivero. 1982. Mapas de probabilidad de precipitación de la provincia del Chubut. N° 54, Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn, Chubut, Argentina. Pp. 12.
- Barth, RC & JO Klemmedson. 1978. Shrub-induced spatial patterns of dry matter, nitrogen, and organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 804-809.
- Beeskow, AM; HF del Valle & CM Rostagno. 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la provincia de Chubut, Argentina. Secretaría de Ciencia y Técnica, Delegación Regional Patagónica, Puerto Madryn, Chubut, Argentina. Pp. 145.
- Bertrand, AR. 1965. Rate of Water Intake in the field. Pp. 197-209 *In: C Black (ed.) Methods of Soil Analysis.* Vol. 1. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Blake, B. 1965. Bulk density. Pp. 374-390. *In: C Black (ed.) Methods of Soil Analysis.* Vol. 1. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. Pp. 595-624. *In: AL Page (ed.) Methods of Soil Analysis.* Vol. 2. 2da Edición. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Cabrera, AL. 1953. Esquema fitogeográfico de la República Argentina. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie) Botánica* 8: 87-168.
- Castellano, MJ & TJ Valone. 2007. Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism. *J. Arid Environ.* 71: 97-108.
- Charley, JL & SL Cowling. 1968. Changes in soil nutrient status resulting from overgrazing and their consequences in plant communities of semi-arid areas. *Proc. Ecol. Soc. Aust.* 3: 28-38.

- Cowling, SW. 1978. Coupling of nutrient to water flows in rangelands ecosystems. Pp. 110-121. *In: KHW Howes (ed.)*. Studies of the Australian Arid Zones. Water in Rangelands 3. C.S.I.R.O., Melbourne, Australia.
- Davidson, DT. 1965. Penetrometer Measurements. Pp. 472-484. *In: C Black (ed.)*. Methods of Soil Analysis. Vol. 1. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Fiori, MS & SM Zalba. 2003. Potential impacts of petroleum exploration and exploitation on biodiversity in a Patagonian Nature Reserve, Argentina. *Biodiv. Conserv.* 12: 1261-1270.
- Gracen, EL & R Sands. 1980. Compaction of forest soils. A review. *Aust. J. Soil Res.* 18: 163-189.
- Knoepfel, IH. 1996. Framework for Environmental Impact Assessment of Long-distance Energy Transport Systems. *Energy* 21: 693-702.
- Martens, H & T Naes. 1989. Multivariate Calibration. Wiley, New York, USA, pp. 97-108.
- Mayor, MD; RM Bo'ó; DV Peláez & OR Elía. 2003. Seasonal variation of the soil seed bank of grasses in central Argentina as related to grazing and shrub cover. *J. Arid Environ.* 53: 467-477.
- Milchunas, DG; KA Schultz & RB Shaw. 2000. Plant community structure in relation to long-term disturbance by mechanized military maneuvers in a semiarid region. *Environ. Manage.* 25(5): 525-539.
- Mueller-Dombois, D & H Ellenberg (eds). 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley, New York.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539-579. *In: AL Page (ed.)*. Methods of Soil Analysis. Vol. 2. 2da edn. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Olsen, SR & LE Sommers. 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. *In: AL Page (ed.)*. Methods of Soil Analysis. Vol. 2. 2da edn. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Pagliai, M; A Marsili; P Servadio; N Vignozzi & S Pellegrini. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil Till. Res.* 73: 119-129.
- Panini, T; D Torri; S Pellegrini; M Pagliai & MP Salvador Sanchis. 1997. A theoretical approach to soil porosity and sealing development using simulated rainstorms. *Catena* 21: 199-218.
- Richards, L. 1953. Modulus of rupture as an index of crusting of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17: 321-323.
- Richard, G; I Cousin; JF Sillon; A Bruand & J Guérif. 2001. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. *Eur. J. Soil Sci.* 52: 49-58.
- Rostagno, CM. 1989. Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. *J. Range Manage.* 42: 382-385.
- Rostagno, CM & HF del Valle. 1988. Mounds associated with shrubs in aridic soils of north-eastern Patagonia: Characteristics and probable genesis. *Catena* 15: 347-359.
- Rostagno, CM; HF del Valle & L Videla. 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. *J. Arid Environ.* 20: 179-188.
- Soriano, A. 1983. Deserts and Semideserts of Patagonia. Pp. 423-460. *In: NE West (ed.)* Temperate Deserts and Semideserts. Elsevier Scientific, Amsterdam.
- West, NE. 1989. Spatial Pattern-Functional Interactions in Shrub-Dominated Plant Communities. Pp. 283-305. *In: CM McKell (ed.)* The Biology and Utilization of Shrubs. Academic Press, London.
- Woodward, CL. 1996. Soil compaction and topsoil removal effects on soil properties and seedling growth in Amazonian Ecuador. *Forest Ecol. & Manag.* 82: 197-209.