

PRACTICAS DE REHABILITACION DE ARIDISOLES Y ENTISOLES DEL NORTE DE LA PATAGONIA AFECTADOS POR LA APERTURA DE LINEAS SISMICAS

A APCARIAN¹, C ARUANI¹, P SCHMID¹, P BROQUEN¹, PA IMBELLONE²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, CC 85, (8303) Cinco Saltos, Río Negro, aapcarian@neunet.com.ar

² Instituto de Geomorfología y Suelos, Universidad Nacional de La Plata, Calle 3, n° 584, (1900) La Plata

Recibido 2 de diciembre de 2000, aceptado 4 de noviembre de 2002

REHABILITATION PRACTICES OF ARIDISOLS AND ENTISOLS AFFECTED BY SEISMIC LINES IN PATAGONIA, ARGENTINA

The north Patagonian region of Argentina is affected by desertification processes. The combination of petroleum activity and the existence of seismic lines across of this arid area increases desertification. The purpose of this study was to evaluate the application of different soil rehabilitation practices. Five soils, representative of the most important landscape units were selected: Typic Torripsamment, Argic Petrocalcic, Natric Petrocalcic, Calcic Petrocalcic, and Argic Petrocalcic. Four treatments were applied on each soil: control, tillage, tillage + transplantation of native vegetation species, and tillage + sowing of native vegetation species. Five indicators were measured to assess the effectiveness of each treatment during three years: vegetation cover, accumulation and denudation of soil material, diversity of vegetation species, and tillage perdurability. Results showed that tillage + transplantation of native vegetal species was the most effective practice in all studied soils to achieve an effective vegetation regeneration. In the Argic Petrocalcic vegetation cover increased from 13 % to 45 %, species diversity varied from 6 to 16, and no soil denudation was detected. Tillage was also effective in the moderately deep Argic Petrocalcic but this practice is not recommended in shallow and very shallow or sandy soils. Human intervention through adequate management practices make plant regeneration possible over seismic lines, however the effectiveness of each practice can be different at different landscape units.

Key words: Soil Rehabilitation, Desertification, Petroleum Activity, Seismic Lines

INTRODUCCION

El norte de la Patagonia Argentina, por su condición natural de aridez, es un ecosistema inestable sometido a procesos de erosión (Movia 1984). Si bien se reconocen razones geológicas y climáticas que determinan este proceso, se ha demostrado que la actividad humana produce un importante impacto a través de sus diferentes acciones (Movia 1984; Castro 1983). La extracción de petróleo desarrollada desde la década del '60 ha contribuido a incrementar la superficie erosionada. Sus improntas en el paisaje incluyen, entre otras, las tradicionales líneas sísmicas, piletas de pozos y la alteración de la vegetación natural. Es de destacar que las líneas sísmicas del área de estudio han sido utilizadas como camino vehicular alternativo. Dicho tránsito destruye plantas, compacta sectores de las líneas (huellas) y, consecuentemente, aumentan las limitaciones para la regeneración de la vegeta-

ción natural. No obstante, el centro de las líneas sísmicas suele presentar especies vegetales, cuya diversidad y cobertura vegetal están relacionadas con las características del medio y la historia de la picada, tiempo de apertura y uso de la misma como camino alternativo. La fragilidad del ecosistema más los hechos mencionados generan: desprotección del suelo, cambios sucesivos en las especies y en la cobertura vegetal, aceleración de los procesos erosivos e intensificación de la desertificación en la zona. Los condicionamientos para la rehabilitación dependen del grado de alteración física del paisaje, del empobrecimiento y desaparición de especies vegetales y el banco de semillas del suelo. La regeneración vegetal natural sería sumamente lenta, por lo tanto la intervención del hombre a través de la incorporación de prácticas que promuevan cambios favorables en las condiciones del suelo y de la vegetación se plantea

como una estrategia válida. Entre las prácticas de recuperación aplicadas, son consideradas entre otras, labranza del suelo, siembra y/o plantación de plantas nativas. La labranza del suelo puede favorecer la retención de materiales sólidos y la acumulación de humedad en algunos tipos de suelos, favoreciendo la instalación de especies definidas por Roig (1998) como colonizadoras. Los cambios que se generen por la aplicación de tales prácticas son evaluados a través de indicadores (Kumar 1989, citado por Syers *et al.* 1995). Smyth *et al.* (1995) definen indicadores como atributos que miden estados ambientales o condiciones de sustentabilidad. La medición de los mismos y la comparación con valores críticos fueron utilizados para evaluar la efectividad de las prácticas propuestas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación de distintas prácticas de rehabilitación en suelos afectados por la apertura de líneas sísmicas, mediante indicadores de propiedades pedológicas y de vegetación.

MATERIALES Y METODOS

La zona de estudio se localiza en la Región Natural Extra-Andina, Subregión Árida Mesetiforme

(Ferrer *et al.* 1990), desde los 38° 46' a 38° 50' S y 68° 07' a 68° 14' O, sobre un área perteneciente al Yacimiento Río Neuquén -Pérez Companc S.A.-, ubicada al este del departamento Confluencia, Provincia del Neuquén. Comprende planicies pleistocenas del interfluvio de los ríos Neuquén y Limay, atravesadas por numerosas líneas sísmicas realizadas con los tradicionales métodos de décadas pasadas (Figura 1). El clima de acuerdo a Thornwhite es Árido Mesotermal, caracterizado por escasas precipitaciones y elevada evapotranspiración, acentuadas por la acción prácticamente continua del viento. La precipitación media anual es de 237 mm, concentradas en dos períodos: otoño y primavera. La temperatura media es de 13,4 °C, con una amplitud térmica de 16 °C y el déficit hídrico anual es de 550 mm (Servicio Meteorológico Nacional 1992). La vegetación comprende especies xerófitas, con elementos florísticos correspondientes a la Provincia Fitogeográfica del Monte (Cabrera 1976), dominada por *Larreas* "jarillas"; *Atriplex lampa* "zampa" y *Prosopis flexuosa* "alpataco". El rasgo geomorfológico más sobresaliente del área de estudio es la presencia de amplias terrazas pleistocenas (Figura 1) cuyas cotas extremas oscilan entre unos 350 m.s.n.m. al este, hasta 450 m.s.n.m. en el extremo occidental. Se identifican cuatro niveles de terrazas denominadas T1, T2, T3 y T4 desde el nivel más elevado al inferior (Schmid *et al.* 1996), reconociéndose en cada una de ellas relieve plano con pen-

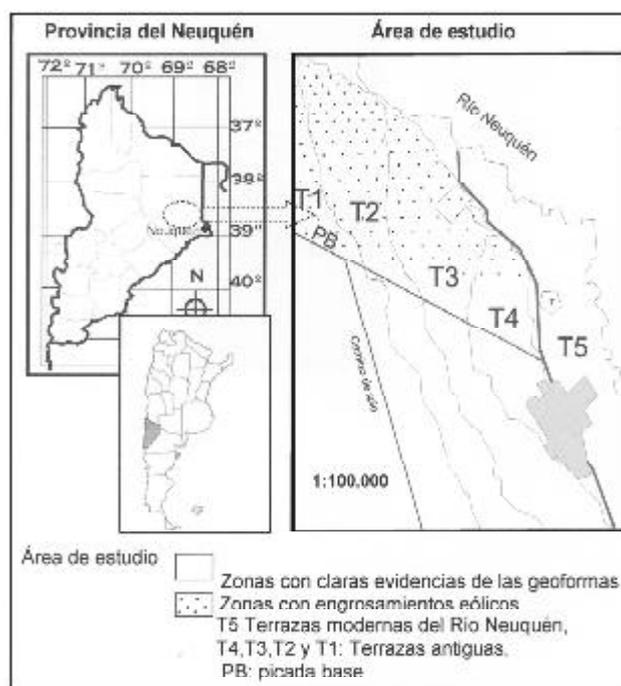


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Departamento Confluencia. Neuquén.
Figure 1. Location of the study area. Confluencia Department. Neuquén.

diente general menor del 0,5 % y microrelieve formado por tres geoformas menores: Paleodivisorias (de relieve plano convexo) afectada por procesos de deflación; Paleocanales (plano cóncavo), con acumulación de materiales gruesos. En algunos sectores de las terrazas dichas geoformas están enmascaradas por un espeso manto eólico. Los suelos de la subregión Árida Mesetiforme pertenecen a los órdenes Aridisol y Entisol (Laya *et al.* 1981, Ferrer *et al.* 1990). Se identificaron y se describieron los suelos característicos de cada unidad de paisaje según las normas de reconocimiento del USDA (Soil Survey Staff 1993), destacando las propiedades de los suelos relacionadas con las limitaciones para la regeneración vegetal tales como profundidad efectiva (pEf), granulometría, capacidad de almacenamiento de almacenamiento de agua hasta pEf, cobertura vegetal, grado de erosión (Tabla 1), clasificando a los suelos según Soil Survey Staff (1994). En función de las relaciones suelo-paisaje definidas (Apcarian *et al.* 1997) se seleccionaron sitios representativos de los

distintos ambientes naturales del área, para la instalación de cinco áreas piloto, cada una de 6m x 250m, que incluyen la zona degradada- línea sísmica de 3 a 4 m- y la condición natural del monte. La caracterización de los suelos representativos se detallan en las Tablas 2 y 3.

En cada área piloto se realizaron diversos tratamientos a partir de marzo de 1997, sobre parcelas de 3 m x 4 m, con un diseño completamente aleatorizado, con tres repeticiones cada una. Los tratamientos fueron los siguientes:

1) Testigo (T): Se consideró parcela testigo a la situación original.

2) Labranza (L): realizada con subsolador donde existían horizontes compactados, subsolando en forma transversal a la picada, en pasadas sucesivas cada 0,50 m y a una profundidad entre 0,20 y 0,40 m según la profundidad que permitió el horizonte petrocálcico. En suelos similares de mayor profundidad se utilizó subsolador y posterior pasaje de surcador en forma oblicua, de 30° a 45° con

Tabla 1. Características intrínsecas y extrínsecas de suelos representativos.
Table 1. Internal and external land characteristics of representative soils.

Características intrínsecas y extrínsecas		Geoformas y suelos asociados		
		Paleodivisorias	Paleocanales	Enmascaradas por lenguas eólicas
Unidad		Petrocalcides Árgicos Petrocalcides Nátricos	Torripsamientes Típicos	Petrocalcides Cálcidos Petrocalcides Típicos
Pavimento de desierto	(clase) (%)	Moderado a muy fuerte 60-70	Ligero a muy ligero Oct-30	Ligero a muy ligero <15
Montículos				
Área	(%)	30-35	30-60	30-40
Altura	(cm)	35-40	35-60	30-50
Cobertura	(%)	35-40	40-60	50-60
Erosión eólica	(clase)	severa a muy severa	moderada	moderada
Erosión	(clase)	leve a moderada	leve	Leve
Textura	(clase)	franco arcillo arenosa	franco arenosa	areno franca
Horizonte A		franco a fr. arc.arenosa		
Textura hor.	(clase)	franco arcillo arenosa	areno franca	arenosa
Fragmentos				
Volumen,	(%, cm)	< 35, de 0 a 25 > 60, a + 25	15-35, de 0 a 100	15-35, de 0 a 65 > 60, de 65 a 80
Familia textural	(clase)	franco esquelética	-	areno esquelética y franco esquelética
Profundidad al	(cm)	25-85	ausente 120 +	60-80
Profundidad	(cm)	25-85	50-120	60-80
Capacidad de agua hasta	(clase, mm)	media a alta, 21 a 30 media, 18	baja, 11	extremadamente baja, 4

Tabla 2. Características morfológicas de los suelos estudiados.
Table 2. Morphological characteristics of studied soils.

Horizonte	Prof. (cm)	Límite	Color	Text. (clase)	Estructura	Consistencia			Barnices
Torripsament Típico, arenosa esquelética, mixta, térmica, calcárea. AP1 sobre paleocanales en terraza 3									
A	0-5	N-P	10YR 6/3	A f	Laminar	B	MF	NA, NP	-
C1	5-50	N-P	10 YR 6/3	A f	Masivo	B	MF	NA, NP	-
C2	45-100+	-	7.5 YR 6/2	A f	Grano suelto	S	MF	NA, NP	-
Petrocalcid Àrgico, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea. AP2 sobre paleodivisoría en terraza 3									
Av	0-2	B-P	7.5YR 6/4	f a A	Laminar	B	MF	LA, LP	-
2Bt	2-17	N-P	5 YR 4/6	f a A	Bl. Subang. gruesos, mod.	LD	F	A, P	Delg. disc.
2Ck	17-25	N-P	5 YR 7/4	f a A	Masiva	LD	F	L.A, L.P	-
3Ckm	25-45+	-	5 YR 8/1	-	-	-	-	-	-
Petrocalcid Nátrico, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea. AP3 sobre paleodivisoría en terraza 2									
A	0-5	B-P	10 YR 5/4	A f	Grano suelto	B	MF	NA, NP	-
C	5-18	B-P	10 YR 5/4	fA	Masiva	B	MF	NA, NP	-
2Bt	18-30	B-P	5 YR 6/4	f a A	Prismas medios, mod.	LD	F	LA, LP	Delg., Disc.
3Ckm	30+	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrocalcid Típico, arenosa esquelética, mixta, térmica, calcárea. ÁP4 engrosamientos eólicos terraza 3									
C	0-65	N-P	10 YR 5/3	A	Laminar	S	MF	NA, NP	-
2Ckm	65+	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrocalcid Argico, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea. ÁP5 sobre paleodivisoría en terraza 4									
Av	0-2	B-P	7.5 YR 6/4	f A	Laminar	B	Fr	LA, NP	-
2Btk	2-18	N-P	5 YR 6/3	f a A	Prismas, Gruesos, mod.	D	F	M A, MP	Mod. Esp., Disc.
2Bck1	18-25	N-P	5 YR 6/3	fA	Masiva	B	MF	NA, NP	-
2Bck2	25-50	N-P	5 YR 8/3	fA	Masiva	-	-	-	-
2Ck1	50-85	N-P	5 YR 8/2	fA	-	-	-	-	-
3Ckm2	85+	-	-	-	-	-	-	-	-

Prof.: profundidad; AO: Àrea Piloto; Límites: N: neto; P: plano; B: brusco; Color: en seco; text.: textura; Af: areno franco; f a A: franco arcillo arenoso; fA: franco arenoso; A: arenoso. Estructura: Bl: bloques; mod: moderados. Consistencia: B: blando, LD: ligeramente duro; D: duro; S: suelto, MF: muy friable; F: friable; Fr :firme; NA: no adhesivo; NP: no plástico; LA: ligeramente adhesivo; LP: ligeramente plástico; Barnices: Delg: delgados; Disc. Discontinuos; Esp: espesos

respecto al trazado de la picada con el fin de conseguir mayor capacidad de trabajo, frenar posible escurrimiento e incorporar el material de suelo depositado en el borde de la picada sobre la misma. En suelos más sueltos se empleó arado de cinceles flexibles.

En los tratamientos descritos a continuación la labranza se realizó en forma idéntica a la detallada anteriormente

3) Labranza más transplante (L+T); Las especies nativas (herbáceas y arbustivas) utilizadas para el transplante fueron seleccionadas por Massa *et al.* (1996) y Bustamante Leiva *et al.* (1998) en base a estudios previos de Gandullo *et al.* (1996), y fueron las siguientes a) *Grindelia chilensis*: Se rea-

lizó con plantas cultivadas en vivero, con el pan de tierra en pozos de 0,30 m de profundidad por 0,30 m de diámetro con una distancia entre plantas de 0,70 m x 0,70 m, b) *Stipa speciosa*: Se realizó con plantas cultivadas en vivero, con el pan de tierra en pozos de 0,25 m de profundidad por 0,25 m de diámetro con una distancia entre plantas de 0,50 m x 0,50 m, c) *Stipa speciosa* por división de matas: Se separaron 2 a 3 macollos de plantas seleccionadas en el área cercana a la parcela, realizándole el transplante en pozos de 0,25 m x 0,25 m con una distancia entre plantas de 0,5 m por 0,5 m, d) *Stipa tenuis*: Se realizó con plantas cultivadas en vivero, con el pan de tierra en pozos de 0,25 m de profundidad por 0,25 m de diámetro con una distancia

Tabla 3. Datos analíticos de los suelos estudiados.

Table 3. Analytical data of the studied soils.

Horiz.	Prof.	Arc.	Lim	Arena	M.O.	C.	pHp	R.E.	Ca	Na ⁺	K ⁺	CIC	PSI	Agua a	
	(cm)	(%)			(%)			(ohms)	CO ₃	Int	Int		(%)	1/3 y 15 atm	
						Org.			(%)	(cmol kg ⁻¹)				(%)	
Torripsament Típico, arenosa esquelética, mixta, térmica, calcárea. Área Piloto 1 sobre paleocanales en terraza 3															
A	0-5	8,4	8,6	82,8	0,69	0,4	8,1	1.600	n/c	0,1	0,53	8,2	1,2	8,6	3,8
C1	5-50	5,3	13,3	81,4	0,44	0,23	8,2	3.000	3,0	0,3	0,47	9,6	4,9	7,8	3,5
C2	45-100	7,6	12,7	79,7	-	-	8,2	2.750	2,3	0,3	0,5	9,5	5,2	8,2	3,6
Petrocalcid Árgico, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea. Área Piloto 2 sobre paleodivisorias en terraza 3															
Av	0-2	27,5	10	62,5	0,33	0,19	7,9	1.400	5,8	0,62	1,22	32,3	1,9	16,9	8,3
2Bt	2-17	21,2	18,8	60,6	1,24	0,72	7,9	750	9,9	0,31	0,94	34,7	0,9	22,6	12,5
2Ck	17-25	22,5	17,5	60	-	-	7,9	850	13,8	0,51	0,92	29,6	1,7	20,4	11
3Ckm	25-45+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrocalcid Nátrico, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea. Área Piloto 3 sobre paleodivisorias en terraza 2															
Av	0-5	5,1	5,1	89,8	0,56	0,32	8	800	1,4	0,78	1,27	15,3	5,1	7,1	3,7
C	5-18	26,0	10,4	63,5	0,34	0,19	8,2	350	2,7	5,7	5,2	31,2	16,7	6,89	2,8
2Bt	18-30	20	7,5	72,5	-	-	8,1	230	8,6	7,36	4,8	29,5	24,9	13,4	7,9
3Ckm	30+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrocalcid Típico, arenosa esquelética, mixta, térmica, calcárea. Área Piloto 4 sobre engrosamientos eólicos en terraza 3															
C	0-65	5,3	5,1	89,8	0,45	0,26	7,9	2.500	5,9	0,31	0,47	9,6	3,2	4,1	2,3
2Ckm	65+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrocalcid Árgico, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea. Área Piloto 5 sobre paleodivisorias en terraza 4															
Av	0-2	20,4	12,7	66,9	0,63	0,37	7,7	1.200	0,5	0,4	1,29	27,5	1,4	12,7	5,6
2Btk	2-18	25	10	65	0,82	0,47	7,8	1.000	6,4	0,54	0,78	38,3	1,4	19,4	10,7
2Bck1	18-25	10	25	65	-	-	7,9	600	7,9	0,41	0,41	28,1	1,5	17,2	8,8
2Bck2	25-50	8,1	37,1	54,1	-	-	7,9	650	16,7	0,65	0,65	28,8	2,2	22,9	12,8
2Ck1	50-85	20	20	60	-	-	8,0	1.500	51,5	-	-	-	-	21,2	10,9
3Ckm2	85+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

horiz.: horizonte; Prof.: profundidad; Arc.: arcilla; Lim: limo; M.O: materia orgánica; R.E.: resistencia eléctrica

entre plantas de 0,50 m x 0,50 m, e) rizomas de *Hyalis argentea*: Se seleccionaron plantas cercanas a la parcelas de las cuales se cortaron rizomas con 2 o 3 yemas y un brote aéreo. La plantación se realizó con un distanciamiento de 0,70 m x 0,70 m en pozos de 0,25 m de diámetro por 0,15 m de profundidad.

4) Labranza más siembra (L+S): Se ensayaron semillas de *Stipa speciosa*, *Stipa tenuis*, *Atriplex lampa* y *Hyalis argentea*. Las tres primeras se sembraron en forma manual con una densidad aproximada de 12 g.m⁻² y la última con una sembradora de grano grueso con asistencia de aire a razón de 15-20 g.m⁻². El distanciamiento fue de 0,70 m entre líneas perpendiculares a la línea sismica y a una profundidad de uno a dos cm. La siembra se realizó en la primera quincena de mayo.

Los indicadores establecidos para evaluar la efectividad de las prácticas fueron:

1) Cobertura vegetal: Expresada en porcentaje de suelo cubierto por especies implantadas más espontáneas, en relación a la superficie total. Se realizó por apreciación visual directa (Biurrun *et al.* 1983) de la porción ocupada por la proyección horizontal de las plantas presentes en una superficie. En labranza y en testigo, la cobertura vegetal se midió considerando las especies vegetales espontá-

neas.

2) Diversidad de especies espontáneas: Expresada en número de especies por parcelas. Se registraron las especies efímeras, anuales y perennes en cada parcela.

3) Denudación del suelo: Indicó la pérdida de materiales del suelo ocurrida desde el inicio del tratamiento y, Acumulación de materiales: Representó el incremento de materiales en superficie como consecuencia de la práctica aplicada ó por acumulación eólica. Se midieron sobre cuatro estacas graduadas (mm) distribuidas al azar en las parcelas de cada tratamiento, totalizando 12 estacas por tratamiento y por área piloto. Se aplicó la siguiente ecuación:

Denudación del suelo y/o Acumulación de materiales (mm año⁻¹) = D h/ T

Para expresarlo en Mg ha⁻¹ año⁻¹ = (mm año⁻¹ 10⁻³) 10.000 m² da.

Donde:

Dh: valor promedio de la diferencia de altura leída por debajo (denudación) o por encima (acumulación) de la línea de base de las estacas marcadas al inicio de los tratamientos; T: tiempo transcurrido desde el inicio de tratamiento (3 años). da: densidad aparente de los materiales (Mg m⁻³); se consideró un

Tabla 4. Escalas de los indicadores utilizados para medir la efectividad de los tratamientos.
Table 4. Scale of applied indexes to assess of treatment effectiveness.

Efecto	Indicadores				
	Cobertura Vegetal	Diversidad especies	Acumulación de materiales	Denudación del suelo	Perdurabilidad de la labranza
	(%)	(N°)	(mm.año ⁻¹)	(mm.año ⁻¹)	(cm)
Nulo o despreciable	< 10	<5	< 0,6	< 0,6	<9
Ligero	Oct-20	05-Oct	< 0,6	< 0,6	Sep-13
Moderado	20-30	Oct-15	0,6-3,3	0,6-3,3	13-17
Alto	30-40	15-20	3,3-13,3	3,3-13,3	17-22
Muy Alto	>40	>20	>13,3	>13,3	22

valor medio de los materiales superficiales del área de estudio de 1,50 Mg m⁻².

4) Perdurabilidad de la labranza: Se midió en base a la profundidad a partir de la cual la resistencia a la penetración superó 2.7 MPa de presión, considerando a este valor como límite admisible del grado de compactación del suelo, para el desarrollo vegetal (Threadgill 1982). Se determinó la resistencia a la penetración del suelo, empleándose un penetrómetro de cono (ASAE Standard 1986), luego de 18 meses de realizada la práctica.

Para cada indicador se establecieron escalas (Tabla 4) cuyos rangos se fijaron a partir de los resultados obtenidos teniendo en cuenta las particularidades de la zona de estudio, a excepción de denudación del suelo, el cual se categorizó según las clases de erosión establecidas por FAO (1980). Los indicadores fueron evaluados para cada tratamiento en las cinco áreas piloto durante los tres años de estudio, en mayo, julio y octubre, a excepción de la perdurabilidad de la labranza. Los valores utilizados para el presente trabajo corresponden al mes de octubre de 1999, etapa final del estudio. Los resultados obtenidos se analizaron por el paquete estadístico Statistical Analysis Systems (SAS Institute 1991) utilizando el análisis de varianza (ANOVA), en un experimento factorial bajo un diseño completamente aleatorizado y el test de Tukey para comprobar diferencias de medias entre tratamientos. El análisis estadístico se realizó para cada área piloto considerando las especies vegetales utilizadas y su comparación con la situación inicial (testigo).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 5 se presentan en forma conjunta los valores medios de los indicadores medidos en cada área piloto. En el Área Piloto 1, la cobertura vegetal fue mayor en el tratamiento de labranza más transplante de *Atriplex lampa* y le siguió en importancia el transplante

con *Stipa tenuis*. A su vez, la acumulación de material también fue mayor en el tratamiento con transplante de *Atriplex lampa*. Con respecto a la labranza más siembra se observó mayor cobertura vegetal con *Stipa speciosa* que con *Stipa tenuis*, no obstante, no se observaron diferencias significativas al comparar los tratamientos de labranza con el de labranza más siembra de *Stipa speciosa*. La diversidad de especies y la perdurabilidad de la labranza fueron mayores en el tratamiento labranza que en el resto de los tratamientos. Por lo tanto, los tratamientos más efectivos fueron: labranza más transplante de *Atriplex lampa* y *Stipa tenuis*.

En el Área Piloto 2, la cobertura vegetal fue mayor, respecto al testigo, en el tratamiento labranza más transplante de *Stipa speciosa* con plantas obtenidas en vivero. La mayor acumulación de materiales también se produjo en el tratamiento labranza más transplante de plantas obtenidas por división de matas. La diversidad de especies fue mayor en el tratamiento labranza y menor en el tratamiento de labranza más siembra. El tratamiento labranza más siembra de *Stipa tenuis* no mostró diferencias significativas en diversidad de especies y cobertura vegetal respecto al testigo, siendo ligeramente significativa la cobertura cuando la especie sembrada fue *Stipa speciosa*. La perdurabilidad de la labranza fue mayor en el tratamiento labranza. Los resultados obtenidos señalan como más efectivos a los tratamientos de labranza más transplante de *Stipa speciosa*, de plantas obtenidas en vivero.

En el Área Piloto 3, se logró mayor cobertura vegetal, con diferencias altamente sig-

Tabla 5. Valores medios de los indicadores en cada área piloto y para los diferentes tratamientos.
Table 5. Mean indexes values for each treatment.

Tratamientos	Indicadores				
	Cobertura vegetal	Acumulación Material	Denudación del suelo	Diversidad de especies	Perdurabilidad de la labranza
	%	mm año ⁻¹	mm año ⁻¹	N°	cm
Área Piloto 1 Torripsamientos Típicos, mixta, térmica, calcárea (profundo)					
Testigo	5.4 d	0 c	0.73 a	7.0 c	8.0 c (*)
Labranza (Lv)	18.4 c	0.73 b	0 b	18.3 a	25.0 a
(L+T) <i>Atriplex lampa</i> (1)	42.4 a	3.7 a	0 b	12.7 b	18.7 b
(L+T) <i>Stipa tenuis</i> (1)	32.9 b	0.77 b	0 b	7.3 c	14.7 b
(L+S) <i>Stipa speciosa</i> .	16.3 c	0.5 b	0 b	12.7 b	15.7 b
(L+S) <i>Stipa tenuis</i>	3.5 d	0.6 b	0 b	12.0 b	14.7 b
Área Piloto 2 Petrocalcides Àrgicos, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea (poco profundo)					
Testigo	5.7 d	0 d	0.8 a	8.0 c	7 c (*)
Labranza (L)	16.3 c	0.73 c	0 b	17.0 a	20 a
(L+T) <i>Stipa speciosa</i> (1)	42.7 a	3.6 b	0 b	11.3 b	14.5 b
(L+T) <i>Stipa speciosa</i> (2)	33.7 b	3.9 a	0 b	12.0 b	14.3 b
(L+S) <i>Stipa speciosa</i>	16.0 c	0.77 c	0 b	6.3 c	13.6 b
(L+S) <i>Stipa tenuis</i>	6.0 d	0.8 c	0 b	6.0 c	13.8 b
Área Piloto 3 Petrocalcides Nátricos, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea (poco profundo)					
Testigo	8.3 c	0 b	4.3 a	6.7 b	7.6 c (*)
Labranza	8.7 c	0.73 b	0 b	17.0 a	19.7 a
(L+T) <i>Stipa speciosa</i> (1)	31.7 b	4.3 a	0 b	7.7 b	14.3 b
(L+T) <i>Stipa speciosa</i> (2)	41.7 a	4.7 a	0 b	8.3 b	14.7 b
(L+S) <i>Stipa speciosa</i>	7.3 c	4.3 a	0 b	7.7 b	7.0 c
(L+S) <i>Stipa tenuis</i>	8.0 c	4 a	0 b	6.7 b	7.3 c
Área Piloto 4 Petrocalcides Cálculos, arenosa esquelética, mixta, térmica, calcárea (moderadamente profundo)					
Testigo	25.7 b	2.3 b	0 b	7.3 b	7.3 c (*)
Labranza	28.0 b	0 c	15 a	12.3 a	29 a
(L+T) <i>Grindelia chilensis</i> (1)	48.0 a	12.7 a	0 b	7.0 b	19.7 b
(L+S) <i>Hyalis argentea</i>	27.7 b	0 c	0 b	7.0 b	19 b
Área Piloto 5 Petrocalcides Àrgicos, franca esquelética, mixta, térmica, calcárea (moderadamente profundo)					
Testigo	13 d	0	0.57 a	6 c	7.3 c (*)
Labranza	43 a	4.3 b	0 b	13 b	21 a
(L+T) <i>Atriplex lampa</i> (1)	45 a	14 a	0 b	16.3 a	19 a
(L+S) <i>Stipa speciosa</i>	41 b	4.3 b	0 b	13 b	17.7 b
(L+S) <i>Atriplex lampa</i>	41.3 b	4.3 b	0 b	5.7 c	18.3 b
(L+S) <i>Stipa tenuis</i>	35 c	3.7 b	0 b	12.7 b	17.3 b

(*) Profundidad del suelo (cm) con valor de resistencia a la penetración inferior a 2.7 MPa medido sobre la línea sísmica sin labrar; (1) Transplante con plantas de vivero; (2) Transplante con plantas obtenidas por división de matas; (L+T) Labranza más transplante; (L+S) Labranza más siembra. Los valores medios en cada columna seguidos de la misma letra no difieren significativamente entre sí según el test de Tukey $p < 0,05$.

nificativas, en los tratamientos de labranza más transplante con respecto al resto de los tratamientos, observándose mayor respuesta con plantas de *Stipa speciosa* obtenidas por división de matas. La diversidad de especies y la perdurabilidad de la labranza fueron mayores con labranza, no obstante el valor de cobertura vegetal obtenido por esta práctica no mostró diferencias significativas con el testigo. La cobertura vegetal, la perdurabilidad de la labranza y la diversidad de especies logradas con el tratamiento labranza más siembra no pre-

sentaron diferencias con el testigo. La denudación del suelo se produjo solamente en el tratamiento testigo. Es de destacar que los suelos representativos del Área Piloto 3 poseen un horizonte petrocálcico cercano a la superficie, con muy alto contenido de fragmentos gruesos en el perfil, propiedades que inciden en la profundidad de enraizamiento y capacidad de almacenamiento de agua, además poseen alto contenido en sodio, y las líneas sísmicas han estado sometidas al uso vehicular habitual. Paralelamente, esporádicas precipita-

ciones de alta intensidad incrementan el escurrimiento superficial, retransportando materiales dentro de las picadas y ocasionado capas laminares de materiales arcillosos característicos del sitio. Las mismas, aunque delgadas, ejercen un efecto negativo sobre la germinación del banco de semillas y establecimiento de plantas, observándose en este sitio menor cobertura vegetal. Sobre este sitio, el único tratamiento efectivo fue la labranza con transplante de *Stipa speciosa*.

En el Area Piloto 4, la mayor cobertura vegetal y acumulación de material con diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) se obtuvo en el tratamiento de transplante de *Grindelia chiloensis*, especie adaptada al sitio, sin embargo la cobertura de especies espontáneas fue mínima, posiblemente debido a la baja retención hídrica de los materiales más gruesos de este sitio. Los tratamientos restantes no presentaron diferencias de cobertura vegetal respecto al testigo, situación favorecida por la presencia de *Hyalis argentea*, especie colonizadora de áreas degradadas, típica de suelos arenosos y que se reproduce por rizomas lo cual facilita su expansión natural. Paralelamente, la parcela testigo de esta área piloto presentó la mayor acumulación de materiales respecto a otras áreas. El tratamiento labranza, si bien permitió aumentar la diversidad de especies y la perdurabilidad de la labranza, ocasionó la mayor denudación del suelo y la acumulación fue nula. Esto guarda relación con las propiedades físicas del material del suelo - de granulometría gruesa a muy gruesa, grano suelto, muy friables, no adhesivos, no plásticos- y a su ubicación en el paisaje en una zona de engrosamientos eólicos. Debido a estas características el suelo es naturalmente muy susceptible a la erosión, por lo cual la labranza acelera la denudación del suelo con efectos negativos sobre la regeneración vegetal por lo que no se recomienda su aplicación en sitios similares. Los resultados señalan como efectivo el tratamiento de transplante con *Grindelia chiloensis*, no recomendándose labrar estos suelos.

En el Área Piloto 5, la cobertura vegetal aumentó respecto al testigo en todos los tratamientos, siendo mayor con labranza más transplante de *Atriplex lampa*, con plantas de vivero. La acumulación de materiales, la diver-

sidad de especies y la perdurabilidad de la labranza también fueron altamente significativas para el tratamiento de labranza más transplante de *Atriplex lampa*. Los valores de todos los indicadores obtenidos en el tratamiento de labranza más siembra, también mostraron ser mayores respecto al testigo, observándose mejores resultados con *Stipa speciosa*. El tratamiento labranza, en este sitio, produjo la mejor respuesta de todas las áreas piloto al incremento de la cobertura vegetal respecto al testigo. Sobre estos suelos todos los tratamientos aplicados fueron efectivos, es de destacar la mayor profundidad de enraizamiento y capacidad de almacenamiento de agua respecto a los suelos de las restantes áreas piloto. Se resalta que sobre este sitio se produjo la mejor respuesta a la práctica de labranza, la cual incluyó el laboreo de los bordes de las picadas, consecuentemente se produjo un incremento de los materiales sobre la misma, arrastre del banco de semillas presentes en el borde y encauzamiento del agua pluvial por efecto de los «canalillos» del surco dejados por la labranza. El encauzamiento hizo que la superficie del suelo permaneciera mayor tiempo en contacto con el agua, generando probablemente mayor infiltración en la zona labrada y, consecuentemente, mayor diversidad de especies y cobertura vegetal. Sobre este sitio, todos los tratamientos fueron efectivos, siendo el orden de efectividad el siguiente: labranza más transplante de *Atriplex lampa* > labranza > que labranza más siembra de *Stipa speciosa* = que labranza más siembra de *Atriplex lampa* > que labranza más siembra de *Stipa tenuis*.

En todas las áreas piloto se observó que, la mayor acumulación de materiales se produjo en el tratamiento labranza más transplante, situación favorecida por el material arrastrado desde el borde de la picada, por acción de la labranza y por aquellos que se acumulan en la cavidad original del pozo de transplante. Fue nula en el tratamiento labranza sobre sitios con engrosamientos eólicos y en todas las parcelas testigo de las áreas piloto a excepción del testigo sobre el área piloto 4. La cobertura vegetal se vio favorecida en aquellos sitios donde hubo mayor acumulación de materiales y con suelos de granulometría media, con horizontes B, de textura franco arcillo arenosa, incidiendo posi-

vamente sobre la capacidad de almacenamiento de agua. En todos los sitios, los mayores valores de perdurabilidad de la labranza se obtuvieron con el tratamiento de labranza, otros como labranza más siembra o labranza más trasplante tienden a disminuir el valor. Esto puede explicarse por las mismas prácticas, dado que, luego del laboreo, la intervención posterior del hombre tiende a recompactar el suelo. Los valores de diversidad de especies obtenidos por la práctica de labranza más siembra, fueron en todos los casos menores a los obtenidos con la práctica de labranza. Con respecto al tratamiento de siembra, sería apresurado descartar esta práctica dado que las condiciones climáticas en los años del presente estudio, probablemente pudo afectar la efectividad del tratamiento, ya que en el año 1998 la precipitación media anual fue de 108 mm, que representa el 47 % de la precipitación media anual, por lo que se considera necesario continuar con la experimentación del tratamiento de siembra.

La labranza más trasplante resultó ser la práctica más efectiva en todas las áreas piloto para lograr la regeneración de la vegetación. El tratamiento labranza mostró efectividad sobre Petrocalcides Árgicos, moderadamente profundos con texturas medias. No se recomienda en suelos poco profundos ni en aquellos de texturas gruesas.

Las respuestas a la regeneración vegetal fueron diferentes en cada suelo, sin embargo, a tres años de iniciados los ensayos, la mayor efectividad a las prácticas de rehabilitación se observó en Petrocalcides Árgicos, moderadamente profundos.

Se concluyó que la intervención del hombre que genere cambios favorables en las condiciones del suelo y la vegetación es una estrategia válida para la regeneración de la vegetación sobre las líneas sísmicas. No obstante las prácticas mostraron distinta efectividad de rehabilitación de acuerdo a las características de los sitios representativos de las unidades de paisaje definidas, por lo cual, la extrapolación de las mismas a paisajes diferentes requiere de ensayos previos, acordes a los atributos del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado mediante Con-

venio entre la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue y las Empresas Pérez Companc S.A. y Petrolera Pérez Companc S.A. 1995- 1999. Nuestro especial agradecimiento a las autoridades y técnicos de la Empresa Pérez Companc S.A. por el apoyo brindado en las tareas de campo.

REFERENCIAS

- Apcarian A, Broquen P, Schmid P, Aruani C. 1997. Suelos bajo régimen árido en terrazas fluviales pleistocenas del valle inferior del Río Neuquén. Actas VIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, VII CONACISU-97. La Serena. Chile. pp 61
- ASAE Standard. 1986. ASAE S313.2. Soil cone penetrometer. St. Joseph. Mich: ASAE p 466
- Biurrun F, Reynoso A, Corzo R, Ferrando C, Calella H. 1983. Adaptación del método de Daubenmire (1959) para la estimación de cobertura de copa de leñosas. Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas. Subcomité Asesor del Árido Subtropical Argentina. 2º Ed: 90-94
- Bustamante Leiva A, Bünzli A, Bustamante A P, Venturini C M. 1999. Revegetación de áreas alteradas por la actividad petrolera. Actas Congreso Nacional "Ambiental 99". San Juan. 87-96
- Cabrera A L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. II. 2º Ed., 85 pp
- Castro M J. 1983. Manual para la recuperación de áreas erosionadas en la Patagonia. INTA. EERA Trelew. Chubut. 101 pp
- FAO. 1980. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Italia, 85 pp
- Ferrer J, Irisarri J A, Mendia M. 1990. Cartografía de los suelos. en: Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén. Volumen 1. Tomo 3. CFI-COPA-DE-Prov. NQN. Buenos Aires, 232 pp.
- Gandullo R, Gastiazoro J, Coscarón Arias C. 1996. Estudio Fitosociológico de la vegetación natural en áreas disturbadas por la actividad petrolera. Libro de Resúmenes de las XXV Jornadas Argentinas de Botánica. Mendoza. pp 479
- Laya H, Irisarri J, Amiotti N, Mussini E, Apcarian A, Bianco H, Schmid P, Crespo G, Antiquero A, Antiquero M. 1981. Estudio de suelos a nivel de reconocimiento con fines de riego en 43 áreas seleccionadas. Consejo Federal de Inversiones, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Cinco Saltos. 240 pp
- Massa A, Bünzli A, Bustamante Leiva A, Bustamante A. 1996. Informe Área de vegetación en Propuesta de rehabilitación de áreas

- disturbadas por la actividad petrolera. Convenio Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional del Comahue-Compañía Naviera Pérez Companc. Primer informe anual. 98 pp
- Movía C P. 1984. Metodologías aplicables a la evaluación de la desertificación en la Patagonia. En: Seminario sobre Metodologías del proceso de desertificación. Editor. de Jong G, Silveira. M L Fac. de Ciencias Agrarias-Fac de Humanidades. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. 153-192.
- Roig J, F A, Roig F A. 1998. Wood anatomy of geo and phytodynamic plant indicators in the Provincia Fitogeográfica del Monte, Argentina. *Bamberger Geographische Schrifften*, 15:181-209
- SAS Institute. Inc. 1991. SAS/STAT User's Guide. Version 6, 4th Ed. Vol. 1 and 2. Cary. NC.
- Schmid P, Betami L, Martin E, Pugh E. 1996. Informe Geomorfológico en: Propuesta de rehabilitación de áreas disturbadas por la actividad petrolera. Convenio Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue - Compañía Naviera Pérez Companc. 85 pp
- Servicio Meteorológico Nacional. 1992. Estadísticas Meteorológicas años 1981-1990. Serie B N° 37.
- Smyth A J, Dumanski J. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Can. J. Soil Sci.* 75: 401-406
- Soil Survey Staff, U.S. Department of Agriculture. 1993. Soil Survey Manual. Handbook 18. Washington. 436 pp
- Soil Survey Staff, U.S. Department of Agriculture. 1994. Keys to Soil Taxonomy, 6th edition. USDA. Pocahontas Press, Inc. Virginia. USA. 306 pp
- Syers J K, Hamblin A, Pushparajah E. 1995. Indicators and threshold for the evaluation of sustainable land management. *Can. J. Soil Sci.* 75: 423-428
- Threadgill, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transaction of the ASAE* 25 (4): 859-963.