FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina para obtener el grado académico de

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

EFECTO DEL ROLADO SOBRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN UN ÁREA DE TRANSICIÓN ENTRE EL CALDENAL Y EL MONTE OCCIDENTAL

MARÍA JULIETA MARTÍN

Director: MSc. Edgardo O. ADEMA
Co-director: MSc. Silvia B. AIMAR
Asesor Estadístico: Francisco BABINEC

Santa Rosa, La Pampa

2008

PREFACIO

Esta tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en ésta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria de Anguil, "Ing. Guillermo Covas" del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, durante el período comprendido entre los años 2001 y 2008, bajo la dirección del MSc. Edgardo O. ADEMA y la codirección de la MSc. Silvia B. AIMAR

Agradecimientos:
Muchas gracias al Director de Tesis Edgardo Adema por todo el apoyo brindado para poder terminar este trabajo y por la ayuda que me brindo hace un par de años cuando por la situación personal en la que me encontraba parecía casi imposible terminar con mi carrera universitaria…Gracias!! A Francisco Babinec (Asesor Estadístico) y co-directora Silvia Aimar, personal de INTA Anguil:, Raúl Brañas, Luis Cornejo, Omar Gutiérrez y Carlos Capello (Laboratorio), Federico Frank (Summary)., a los Docentes de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por la formación académica que me brindaron y a todos aquellos que han sido participes de alguna manera en la realización de este trabajo.

Se la dedico especialmente a mi hija Agustina, a mi mamá, María Teresa Carrascal y hermana, Samanta, a mi amor y compañero, Martín y a mis amigos. Gracias a toda mi Familia!

…….

Srta. María Julieta MARTIN
6 de mayo de 2008

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

RESUMEN

Los suelos de zonas áridas y semiáridas de Argentina son susceptibles a la degradación por sus limitaciones ambientales y el uso al cual son sometidos. La erosión hídrica provoca pérdida de nutrientes y modifica la estructura vegetal, generando micrositios con grupos de arbustos asociados a montículos de suelo y áreas entre arbustos donde los procesos erosivos son dominantes. Una técnica propuesta para mejorar las condiciones de pastizales arbustizados es el uso del rolo cortador. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del rolado sobre propiedades físico-químicas del suelo en micrositios bajo y entre arbustos, en un área del ecotono Caldenal- Monte Occidental ubicado en el Campo Anexo del INTA, al oeste de Chacharramendi, (37°22´ S, 65°46´ W). En 1997 se realizó un rolado en franjas y, en junio de 2000 los muestreos de vegetación y suelo en micrositios bajo y entre arbustos, con y sin tratamiento de rolado (6 repeticiones por micrositio y por tratamiento). El rolado aumentó el contenido de carbono orgánico en los primeros 10 cm de profundidad, y no se observaron cambios en los contenidos de nitrógeno y fósforo. En ambos sitios el rolado provocó una mayor densificación del suelo, sin consecuencia para el estrato graminoso-herbáceo. La infiltración es mayor en los primeros 10 cm del suelo en los sitios bajo arbustos. En el futuro podrían manifestarse efectos sobre algunas propiedades edáficas que aun se encuentran en proceso de cambio inducido por el tratamiento y posterior manejo.

SUMMARY

Soils in arid and semiarid regions in Argentina are vulnerable to degradation because of their environmental limitations, and the uses they are submitted to. Soil water erosion produces nutrient loss and modifies vegetation structure, creating micro-sites, where groups of shrubs are associated to soil mounds, and the rest are areas where soil erosive processes predominate. The use of a roller chopper is a useful technique to improve the condition of grasslands previously invaded by shrubs. The objective of this study was to evaluate the effect of rolling on soil physical and chemical properties underneath– and between–shrubs, in the Caldenal–Monte Occidental ecotone. The area corresponds to an INTA Experimental Field, west of Chacharramendi (37º22' S, 65º46' W). In 1997, a roller chopper was used in strips. In June, 2000 soil and vegetation were sampled in rolled and unrolled strips (six samples per micro-site per treatment). Rolling increased Soil Organic Carbon content in the first 10 cm, and no changes in Nitrogen and Phosphorus contents were found. In both sites, rolling produced an increase in bulk density, but with no negative effects on herbaceous vegetation. Soil infiltration was higher in the first 10 cm underneath shrubs. In future, some effects of rolling and subsequent management practices on soil properties may be noticeable.

EFECTO DEL ROLADO SOBRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN UN ÁREA DE TRANSICIÓN ENTRE EL CALDENAL Y EL MONTE OCCIDENTAL

INTRODUCCIÓN

Los Recursos Naturales, entre ellos el suelo, son elementos indispensables y útiles al hombre para la vida. Esta definición ha provocado tanto en el pasado como en presente, el uso inadecuado y sobreexplotación de los mismos, haciendo difícil su conservación en el tiempo. En función de esta situación, surge la necesidad de planificación y creación de programas que fomenten la generación y transferencia de tecnología apropiada para el manejo integrado de los Recursos Naturales junto a políticas estatales que coordinen acciones que procuren su conservación. El objetivo de dichas políticas debería ser alcanzar la productividad óptima de los sistemas en beneficio del hombre, respetando la capacidad de acogida del ambiente y la búsqueda del desarrollo sustentable.

Para que la producción sea sustentable se debe prevenir el deterioro del ambiente, promoviendo la recuperación y el mejoramiento del mismo. La sustentabilidad de las actividades agropecuarias se encuentra en una amplia controversia de intereses sociales, ecológicos, económicos y tecnológicos, y son varias las disciplinas científicas que se ocupan de su estudio. Alcanzar dicha sustentabilidad, requiere factibilidad económica y técnica, compromiso político, aceptación social, equidad dentro y entre generaciones actuales y futuras, respeto por el ambiente, disponibilidad de tecnología apropiada y búsqueda continua de alternativas para el manejo de los recursos que provee la naturaleza (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 1995).

El uso inadecuado del suelo causa su degradación, y de no tomar medidas para prevenir y revertir esta situación, serán cada vez más amplias las áreas afectadas por el deterioro, como la erosión hídrica y eólica, compactación, salinización, pérdida de fertilidad, entre otros. Según FAO, la degradación de suelos es un proceso de pérdida parcial o total de productividad de la tierra. Las actividades agropecuarias constituyen actividades degradantes al reemplazar ecosistemas complejos, con un determinado grado de organización por otros más simplificados, con menos componentes y de mayor productividad. Pero a su vez, la FAO expresa que los procesos de modificación artificial de los ecosistemas, no necesariamente determinan un deterioro de las condiciones ambientales. Para

ello, el impacto ambiental de dichas modificaciones debe mantenerse dentro de límites compatibles con la preservación de la capacidad de regeneración del sistema y con la estabilidad a largo plazo de sus propiedades fundamentales. Es necesario utilizar medidas que disminuyan el impacto en el tiempo e impidan la degradación y consecuente deterioro (FAO, 1993).

El suelo conforma un sistema complejo en equilibrio dinámico. Es la parte superior de la corteza terrestre que se origina de la descomposición de la roca madre por medio de procesos físicos, químicos y biológicos. Según Jenny (1941) el desarrollo del suelo es función del material original, el clima, el relieve, los organismos vivos y el tiempo, medido en siglos. Es también, el sustento de los vegetales y donde estos obtienen el agua y los nutrientes, y el hábitat de la flora y fauna edáfica. Está formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica) y una fase líquida y gaseosa, determinada por la porosidad del suelo, donde el agua y el aire se mantienen en equilibrio dinámico.

Diferentes estudios muestran la importancia de la vegetación como agente biológico protector del suelo. Las tasas de escorrentía y erosión, aumentan en relación inversa a la cobertura vegetal. Tanto la vegetación como la broza disipan la energía cinética de las gotas de lluvia, aumentan la permeabilidad y retardan la velocidad del escurrimiento superficial. Además, la vegetación protege el suelo según su hábito de crecimiento, estado fenológico y el grado de uso de la misma (Thurow *et al.*, 1988). Las variaciones en la dinámica de crecimiento de la vegetación, genera un cambio en el porcentaje de cobertura y por ende de la exposición del suelo a diferentes agentes erosivos.

La acumulación de restos vegetales sobre la superficie del suelo es clave para el control de la erosión y disminución de la evapotranspiración, favoreciendo la infiltración del agua en el suelo, el aumento de la humedad, y estabilización de la temperatura del mismo, entre otros factores. Cuando la cobertura vegetal es removida parcial o totalmente, la erosión aumenta en relación directa a la magnitud de la precipitación (Thurow, 1991).

Los suelos de las zonas áridas y semiáridas del centro de Argentina son muy susceptibles a la degradación debido a las características que presentan estos ambientes. Además de las limitaciones ambientales, los suelos han sido, y actualmente son utilizados para desarrollar actividades en su mayoría ganaderas, que sin un manejo adecuado tienden a incrementar los procesos erosivos (Covas y Glave, 1988).

En el área de transición del Caldenal y el Monte Occidental, la actividad productiva se caracteriza por la cría extensiva de ganado bovino, ovino y caprino y se encuentra limitada por la baja productividad de los pastizales como consecuencia de la deficiencia hídrica media anual, el escaso contenido de materia orgánica y la baja capacidad de retención de agua en el suelo (Covas, 1989).

Una de las causas de degradación de suelos en los pastizales de la región es la erosión hídrica con consecuencias directas sobre el ambiente, como son la pérdida de sedimentos, nutrientes y materia orgánica (Adema, 2000), e indirectas como la modificación en la estructura vegetal (Noy-Meir, 1980). La modificación de dicha estructura genera micrositios con grupos de arbustos asociados a montículos de suelo y áreas entre arbustos (Rostagno y del Valle, 1988). Rostagno *et al.* (1991) reportaron que en los micrositios montículos-arbustos prevalecen los procesos formadores de suelo, mientras que en los micrositios entre arbustos los procesos erosivos son los dominantes, debido a que en regiones áridas la cobertura de pastizales es escasa.

Por otra parte, los arbustos pueden tener un efecto pronunciado en las propiedades físicas y químicas del suelo subyacente (Tiedemann y Klemmedson, 1973; Barth y Klemmedson, 1978) así como en la capacidad de infiltración y en las pérdidas de agua por evaporación (Hennessy *et al.,* 1985). Los espacios entre arbustos son más propensos a la erosión, razón por la cual la degradación de éstas áreas provoca heterogeneidad espacial de los suelos, considerándose, esta última, como un indicador de la degradación de pastizales (Schlesinger *et al.,* 1990).

Diferentes técnicas han sido propuestas para mejorar las condiciones de suelos y pastizales arbustizados. Se ha comprobado que en áreas de pastizales en las que los arbustos fueron controlados mediante rolo cortador, el suelo fue más eficiente en captar y almacenar agua de lluvia, pues el trozado de arbustos aumenta la cantidad de broza en superficie. Como consecuencia disminuye el escurrimiento superficial y favorece la infiltración generando un aumento en el contenido hídrico en el perfil. (Adema *et al*., 2004). A su vez el rolado reduce la frecuencia y el dosel del estrato arbustivo, aumentando el área de forrajeo (Adema y Babinec, 2002). En consecuencia mejora la productividad del pastizal.

El aumento de la broza sobre el suelo favorece su descomposición y genera un ambiente más estable (temperatura y humedad) sobre la superficie intervenida. La cantidad de broza sobre el suelo rolado, disminuye a través del tiempo, pero siempre será mayor que la existente en el suelo sin

tratamiento, para un período de varios años. La recurrencia de la práctica de rolado en ese intervalo de tiempo, produciría nuevos aportes de residuos vegetales, que junto con los remanentes provocarían un aumento del nivel de broza obtenido con el primer rolado. Este proceso reactivaría los mecanismos de descomposición, mejorando las propiedades químicas y físicas del suelo. (Adema, 2006).

El incremento de materia orgánica humificada en el suelo, favorece la formación de agregados estables y por lo tanto, la capacidad de infiltración (Thurow, 1991). Como la descomposición de residuos depende de las características fisico-químicas del ambiente, la calidad de la broza y la presencia de descomponedores, estos procesos pueden usarse como indicadores para evaluar el comportamiento de diferentes ecosistemas o prácticas de manejo (Coleman y Crossley, 1996).

Respecto de las variables fisico-químicas del suelo, Parr y Papendick (1997) recomiendan el uso de metodologías que permitan identificar aquellas que posean mayor incidencia para las condiciones específicas de cada sitio.

Hipótesis

El control del arbustal mediante rolado, es una herramienta que permite mejorar la condición de las propiedades del suelo en las regiones semiárida-áridas del Caldenal y el Monte Occidental.

Objetivo

Evaluar el efecto del rolado sobre propiedades físico-químicas del suelo en micrositios bajo y entre arbustos, en un arbustal mixto del ecotono Caldenal- Monte Occidental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el Campo Anexo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) que se encuentra ubicado a 18 Km al oeste de Chacharramendi, sobre la ruta provincial N° 20, en la provincia de La Pampa. El sitio de estudio (37°22´ S, 65°46´ W) presenta condiciones ambientales representativas del área. El clima es semiárido, con una temperatura media anual de aproximadamente 15 °C (media de julio = 7,5 °C y media de enero = 24 °C). La precipitación media anual (1961-2007) es de 494 mm (Figura 1), con una alta variabilidad entre años y un rango de 730 mm para el período considerado. La evapotranspiración potencial de la zona (Thornthwaite) es de 789 mm y la deficiencia hídrica media anual de 295 mm.

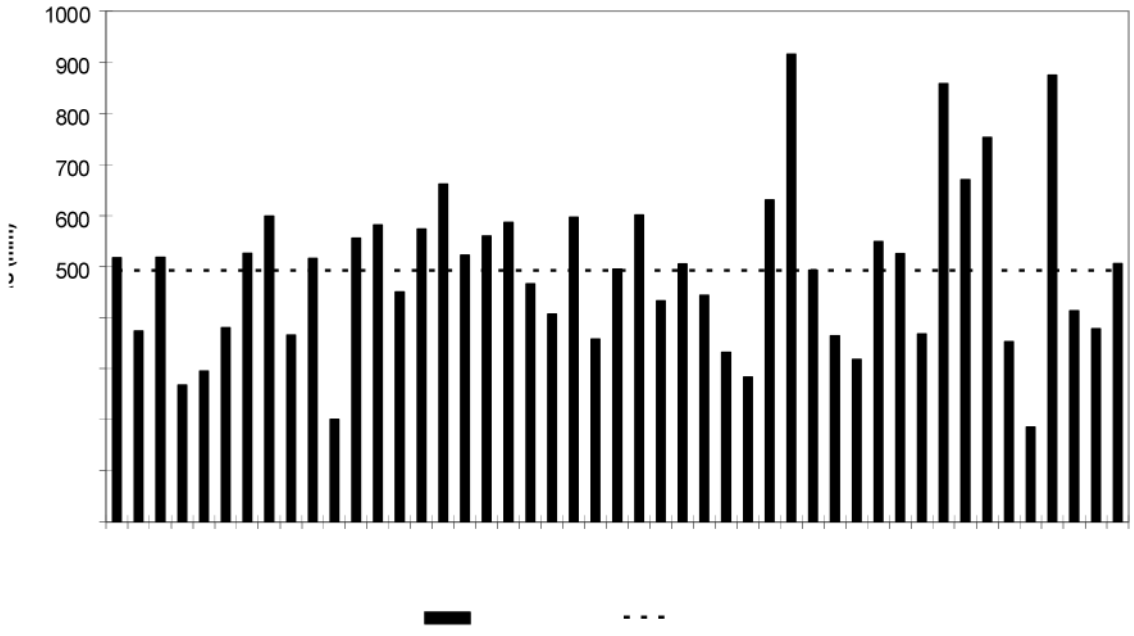


Figura 1. Precipitación anual. Chacharramendi, La Pampa. Estación Meteorológica del Campo Anexo Chacharramendi, INTA (1961-2007).

En la **Tabla 1** se muestran las principales características fisico-químicas del suelo. El material parental de los suelos está constituído por sedimentos de origen eólico, con carbonato de calcio y gravilla. El suelo sobre el cual se realizó este estudio es de textura franca arenosa y fue clasificado como Ustortente típico (Jacyszyn y Pittaluga, 1977).

Tabla 1. Principales características del suelo (Adaptado de Adema *et al*., 2004).

Horizontes	AC	C_k
Profundidad (cm)	0-12	12-95
Carbono orgánico ($g.kg^{-1}$)	5,9	3,6
Nitrógeno ($g.kg^{-1}$)	0,7	0,5
Fósforo asimilable ($mg.kg^{-1}$)	9,53	1,11
pH en pasta	8,20	8,24
Densidad aparente ($g.cm^{-3}$)	1,38	1,26
Arcilla (%)	7,4	6,4
Limo (%)	18,7	19,7
Arena (%)	73,9	73,9
Conductividad hidráulica	53,8	79,6
Poros > 1000 μ (%)	32,3	41,4

La vegetación en esta zona de transición entre el Caldenal y el Monte Occidental está representada por un arbustal mixto perennifolio con predominio de jarilla, árboles aislados de algarrobo y un pastizal de gramíneas bajas e intermedias, donde la flechilla es la especie dominante (INTA et al., 1980). La alta densidad de arbustos y la presencia de espacios desprovistos de vegetación, son algunos de los indicadores de la degradación que afectan al pastizal.

Dentro del establecimiento se seleccionó un sitio de pastizal con un estrato arbustivo de 0,50 a 3 m de altura y una cobertura del 40 %, con dominancia de *Chuquiraga erinacea* Don (Cher), *Larrea divaricata* Cavanilles (Ldi), *Lycium chilense* Miers (Lchi) y renuevos de *Prosopis flexuosa* De Candolle (Pfl). Otras especies arbustivas presentes fueron: *Lycium gilliesianum* Miers (Lgi), *Prosopidastrum globosum* (Gill. ex Hook. et Arn.) Burkart (Pgl) y *Verbena seriphioides* Gill. et Hook. (Vse). El estrato graminoso-herbáceo presenta una comunidad donde predominan las gramíneas invernales (62 %) sobre las estivales (14 %) y las hierbas (24 %). Entre las principales especies se pueden mencionar: *Stipa tenuis* Philippi (Ste), *Poa ligularis* Nees (Pli), *Piptochaetium napostaense* Hackel (Pna), *Digitaria californica* (Benth.) Henrard (Dca), *Trichloris crinita* (Lag.) Parodi (Ttr), *Acantholipia seriphioides* (A. Gray) Moldenke (Ase), *Sphaeralcea crispa* Baker (Scr) y *Baccharis ulicina* Hook. et Arn (Bul).

En Octubre de 1997 se realizó un rolado en franjas en el sitio de estudio **(Foto 1)** y el área tratada fue dividida en 4 parcelas y sometida a un sistema de pastoreo rotativo (25 días de uso y 13 meses de descanso) con una carga equivalente a 0,125 unidad animal/ha (Pordomingo *et al.*, 2004).

Foto 1. Rolado de monte bajo en franjas. Chacharramendi, La Pampa.

Diseño del experimento

En el sitio de estudio se seleccionaron micrositios bajo y entre arbustos, con y sin tratamiento de rolado. En la elección de micrositios bajo arbustos se consideraron aquellos que estaban asociados a montículos de acumulación de suelo, en contraste con los micrositios entre arbustos en áreas planas con presencia de vegetación graminosa-herbácea **(Foto 2)**. En Junio de 2000 se realizaron los muestreos de vegetación y suelo con 6 repeticiones por micrositio y por tratamiento. Los sitios de muestreo fueron: Nb (natural bajo arbustos), Ne (natural entre arbustos), Rb (Rolado bajo arbustos) y Re (Rolado entre arbustos).

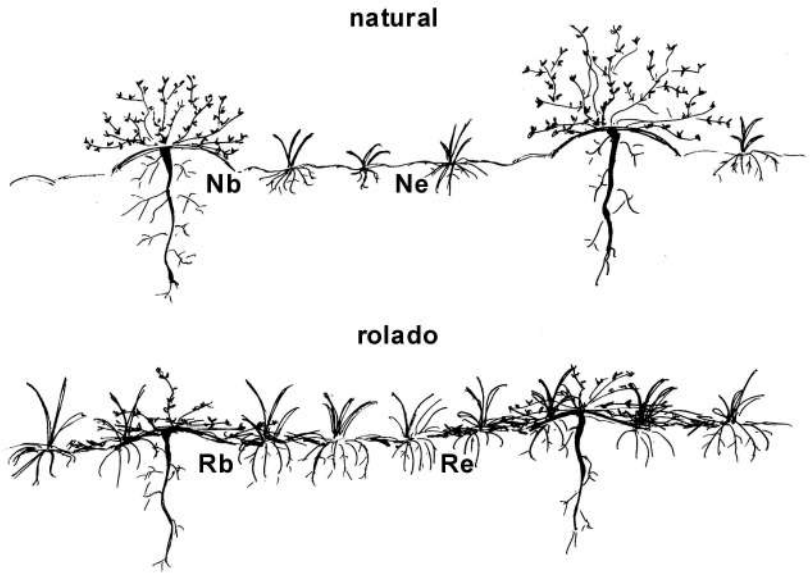


Foto 2. Micrositios bajo y entre arbustos, con y sin tratamiento de rolado.

Variables medidas

En cada micrositio bajo arbustos se determinaron las especies vegetales leñosas y tamaño de las mismas.

En cada uno de los sitios mencionados se determinó a campo la resistencia a la penetración (RP) con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm de espesor, hasta los 30 cm de profundidad de suelo; humedad gravimétrica (%) y densidad aparente (DA) por el método de los cilindros, en capas de 10 cm, desde la superficie hasta los 30 cm de profundidad.

En muestras tomadas de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm de profundidad se determinó densidad real (DR, picnómetro). A iguales profundidades y en muestras de suelo sin disturbar, se determinó la capacidad de campo (método de los cilindros) mediante la saturación de las muestras y posterior drenaje durante 24 hs.

La macroporosidad (Helalia, 1993) se estimó mediante la fórmula:

$$Map = (1 - DA*DR^{-1}) - Mip$$

Siendo: Map, macroporosidad

DA, densidad aparente

DR, densidad real

Mip, microporosidad (humedad a capacidad de campo).

La tasa de infiltración a flujo saturado se evaluó en laboratorio usando la muestra contenida en los cilindros de densidad aparente previamente saturada por capilaridad (Schlichting *et al.*, 1995). En muestras de suelo tomadas de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm de profundidad, se determinó carbono orgánico (Walkley-Black), nitrógeno total (Kjeldhal), fósforo asimilable (Bray-Kurtz Nº1) y textura por el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962).

Los datos fueron analizados mediante ANOVA y test de medias (SAS, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estrato arbustivo

Las especies leñosas presentes en los micrositios bajo arbustos fueron: Cmi, Cher, Ldi, Pgl, Lgi y Pfl (**Tabla 2**). La altura (media ponderada del área cubierta por cada especie) en el tratamiento rolado fue de aproximadamente de 1 m, mientras que en el testigo fue de 1,4 m. El área sombreada por los arbustos fue 3,6 veces menor en el rolado que en el testigo, promediando 2,6 m^2 y 9,5 m^2 respectivamente. Esto se debe a que el rolado reduce el dosel del estrato arbustivo aumentando el área de forrajeo como consecuencia del triturado de las leñosas (Adema y Babinec, 2002).

Tabla 2. Caracterización de especies leñosas en micrositios bajo arbustos.

Sitio	Especie	altura med. pond.	cobertura
		(m)	(m^2)
Rb1	Cmi	0,65	1,54
Rb2	Pfl	1,70	2,69
Rb3	Cmi, Ldi, Cher	0,81	1,85
Rb4	Cmi, Pgl	1,07	1,99
Rb5	Pfl, Cher, Ldi	1,43	2,94
Rb6	Pgl	0,70	4,71
Promedio		**1,06**	**2,62**
Nb1	Cmi, Lgi, Cher	1,26	7,41
Nb2	Pfl, Cmi	1,91	8,99
Nb3	Pgl, Cher	1,37	13,05
Nb4	Pgl, Cher, Cmi	0,87	15,3
Nb5	Cmi, Pfl, Cher	1,48	8,88
Nb6	Pgl	1,60	3,14
Promedio		**1,42**	**9,46**

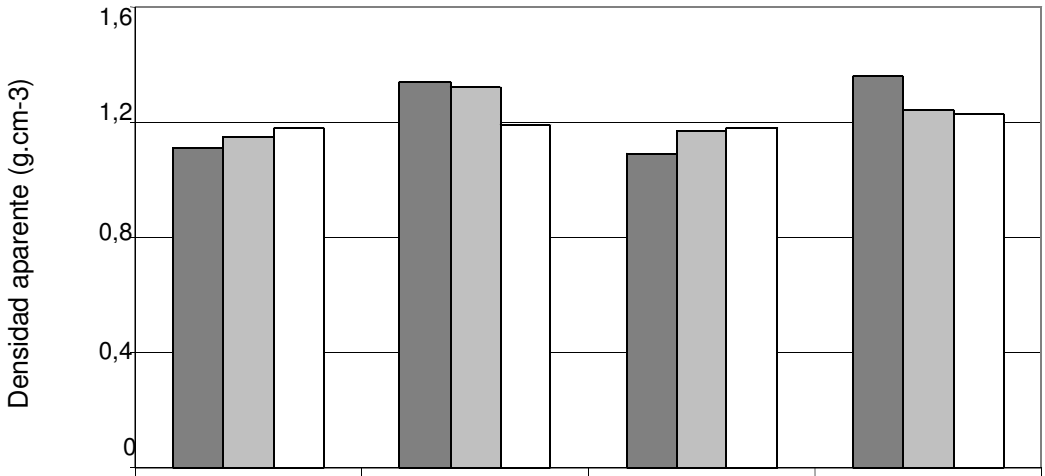
Se ha evaluado la frecuencia de las principales especies arbustivas y el área accesible al pastoreo en un sitio de arbustal-pastizal rolado. Esto ha permitido estudiar la velocidad de recuperación de la vegetación leñosa del área intervenida. Los resultados han mostrado que la inaccesibilidad al pastoreo fue significativamente mayor bajo la condición natural que en el monte rolado. Siete años después del control del monte, el área inaccesible en el rolado fue de 13,2 %, mientras que en el monte natural fue de 25,2 %. Si bien se aprecia un aumento de la revegetación arbustiva bajo rolado, el área inaccesible fue un 50 % menor que bajo la condición natural (Adema, 2006).

Densidad aparente

La densidad aparente se puede definir como la relación existente entre la unidad de peso y la unidad de volumen (de la fase sólida, líquida y gaseosa) de un suelo en su estado natural. En los suelos no cultivados la DA tiene un valor promedio entre 1 y 1,6 $g.cm^{-3}$. La variación es debida en su mayor parte a diferencias en el volumen total de poros, reconociéndose dos fuentes de origen principales: la textura y la estructura.

La compactación, debida al pisoteo de animales por ejemplo, disminuye el volumen de poros, incrementando por lo tanto, el peso por unidad de volumen. Se produce un aumento de la DA, se destruye y debilita la estructura del suelo, reduciendo la porosidad total. Al modificar la porosidad del suelo, se produce un impacto directo sobre la entrada y salida de agua, en la entrada y difusión de gases y calor, y en el crecimiento de las plantas.

En la **Figura 2** se observa como varía la DA en los distintos sitios, con relación a la profundidad del suelo. No existen diferencias significativas entre tratamientos (p=0,87). Sin embargo hay un efecto significativo de micrositio (p<0,001) determinado por las profundidades de 0-10 y 10-20 cm. A la profundidad de 20-30 cm, los valores de DA son similares entre micrositios. El rango de variación fue de 1,09 $g.cm^{-3}$ para Nb y de 1,36 $g.cm^{-3}$ para Ne a la profundidad de 0-10 cm.



	Rb	Re	Nb	Ne
0-10cm	1,11	1,34	1,09	1,36
10-20cm	1,15	1,32	1,17	1,24
20-30cm	1,18	1,19	1,18	1,23

Figura 2. Densidad aparente en diferentes profundidades, en ambos sitios y tratamientos.

Existe una interacción significativa entre micrositios y profundidad (p <0.01). La DA hallada en los micrositios entre arbustos disminuyó con la profundidad y fue mayor que en la posición bajo arbusto. A la profundidad de 20-30 cm la DA de ambos micrositios fue semejante. Esto se debe a que en el primer caso existe una mayor compactación como consecuencia del pisoteo de los animales. En tanto los sitio bajo arbusto son menos accesibles para el ganado por lo cual se han observado los menores valores de DA.

Resistencia a la penetración

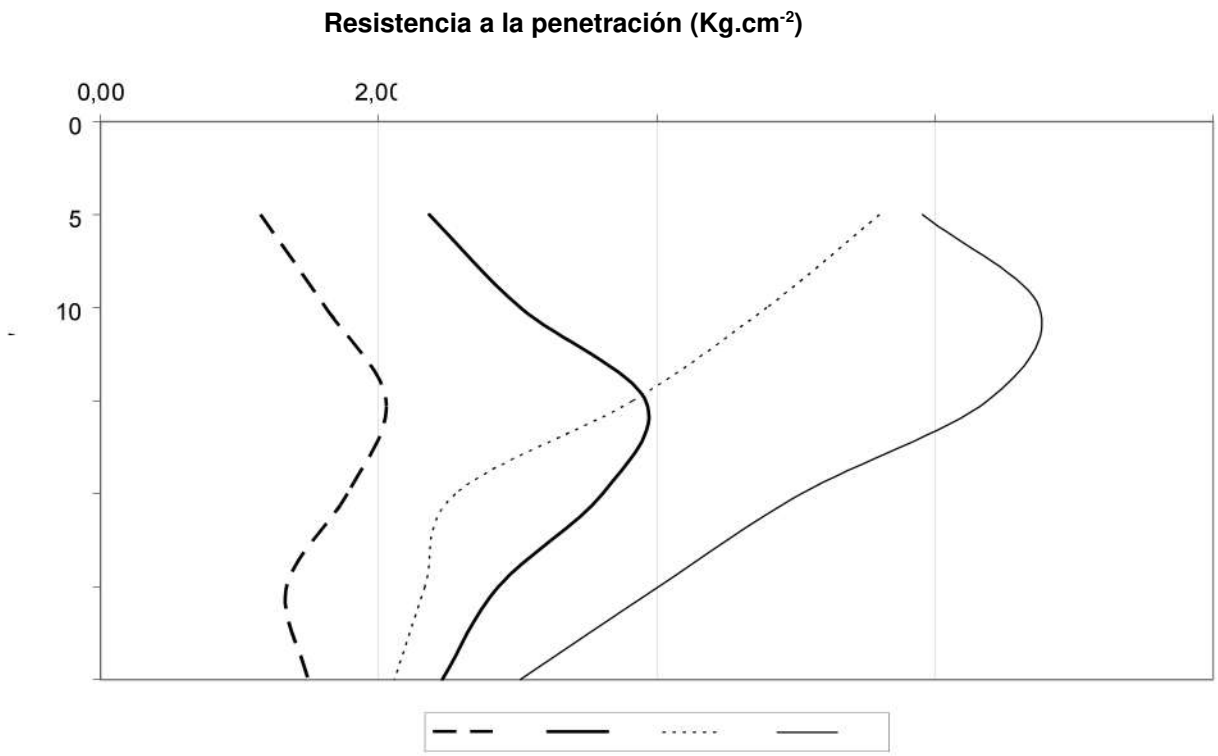
En todo sistema suelo-planta hay una serie de factores físicos, como la resistencia a la penetración, que tienen incidencia directa sobre el comportamiento de la vegetación. Este parámetro está relacionado con la DA, la estabilidad de los agregados, la porosidad total y la distribución del tamaño de poros (Letey, 1985).

La RP **(Tabla 3)** presenta diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,01$), micrositios ($p<0,01$) y profundidad ($p<0,01$)**.**

Tabla 3. ANOVA y niveles de significancia de las variables de suelo estudiadas.

Variables	Trt	Sit	trt*sit	prf	trt*prf	sit*prof	trt*sit*prf
DA ($g.cm^{-3}$)	NS	**	NS	NS	NS	**	NS
RP ($kg.cm^{-2}$)	**	**	NS	**	**	**	*

Los valores promedios correspondientes a los perfiles de RP (0-30 cm) son de 1,57 $kg.cm^{-2}$ para Nb, 3,04 $kg.cm^{-2}$ para Rb, 3,54 $kg.cm^{-2}$ para Ne y 5,19 para Re. En la **Figura 3** se observa un patrón de RP similar entre los sitios bajo arbusto, que difieren de los sitios entre arbustos. En los primeros 15 cm de profundidad los micrositios bajo arbusto presentan menores RP con respecto a los sitios entre arbustos. Este resultado es consecuente con los efectos a los cuales están sometidos, principalmente al pisoteo de los animales. Además se observa dentro del mismo micrositio un efecto del tratamiento donde el rolado aumenta la RP por efecto del paso de la maquinaria (Adema et al., 2004). En el sitio entre arbustos, el mayor efecto del rolado se produce entre 10 y 20 cm de profundidad, alcanzando las mayores diferencias con respecto al natural. Sin embargo, en los primeros 5 cm del perfil para este micrositio, los valores son similares (rolado = 5,9 $kg.cm^{-2}$ y natural = 5,6 $kg.cm^{-2}$) en ambos tratamientos, como consecuencia de la remoción del suelo provocada por las cuchillas del rolo (**Foto 3**).



Prof. (cm)	Nb	Rb	Ne	Re
0-5	1,2	2,4	5,6	5,9
5-10	1,6	3,0	4,8	6.8
10-15	2,1	3,9	3,8	6,4
15-20	1,8	3,6	2,6	5,0
20-25	1,3	2,9	2,3	4,0
25-30	1,5	2,5	2,1	3,0

Figura 3. Resistencia a la penetración (capas de 5 cm de espesor) en diferentes micrositos y tratamientos.

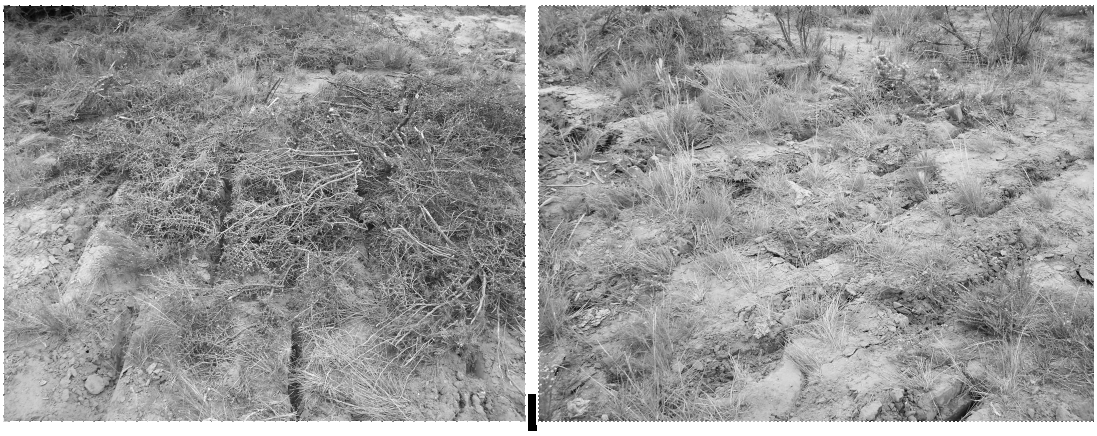


Foto 3. Remoción superficial del suelo por la acción de las cuchillas del rolo.

Porosidad total

La porosidad está formada por poros de diferentes tamaños: poros grandes, cuya función es de aireación e infiltración, poros medianos que conducen el agua y poros pequeños que almacenan el agua que queda disponible para las plantas. En el área de estudio donde la precipitación es escasa, los poros de almacenamiento son vitales para el crecimiento de la vegetación, mientras que los poros grandes deben asegurar la capacidad de infiltración del agua en el suelo.

En este estudio, la porosidad es diferente de acuerdo al sitio, observándose los mayores valores en los micrositios bajo arbusto con respecto a los micrositios entre arbusto (**Tabla 4**), en los primeros 20 cm de profundidad. La mayor porosidad total en los sitios bajo arbusto se debe a la exclusión del pastoreo. Los valores hallados en ambos micrositios de 20 a 30 cm de profundidad, fueron semejantes, lo que significa que a esa profundidad no se observa el efecto de compactación que produce el pisoteo de los animales. En ningún caso se observa un efecto significativo del tratamiento sobre esta variable.

Los resultados muestran valores de porosidad total del suelo que van desde 43 % (Ne), hasta 52 % (Nb), por lo cual no existen restricciones para el desarrollo de las plantas en relación con esta variable. Gavande (1991) relaciona la porosidad total con la estructura del suelo y afirma que estructuras pobres interfieren con el crecimiento de las raíces de las plantas cuando los agregados del mismo dejan un espacio poroso total menor al 40 %, con poros pequeños que no drenan bien y solo un 5 % está ocupado por aire.

Tabla 4. Valores promedio de porosidad total (%) en diferentes sitios, tratamientos y profundidades.

Profundidad (cm)	**Rb**	**Re**	**Nb**	**Ne**
0-10	51,92	41,49	53,71	43,26
10-20	51,69	44,69	51,27	48,59
20-30	51,14	50,58	51,79	49,61

La porosidad determina la capacidad de almacenaje y el movimiento del agua en el suelo. Es importante analizar los diferentes tamaños de poros para conocer con mayor detalle el efecto de diferentes actividades (pastoreo, labranzas) sobre la dinámica del agua y el crecimiento de la vegetación (Kiessling *et al.,* 2007), ya que el cambio en el contenido total de poros no es un indicador respecto de la funcionalidad de los mismos (Iglesias *et al.,* 1996).

Macroporosidad

El porcentaje de macroporos varía entre 25,1 y 40,7 %, valores extremos medidos en los primeros 10 cm de profundidad entre Re y Nb respectivamente (**Figura 4**). El mayor porcentaje de macroporos se encuentra en los suelos de los sitios bajo arbusto (p=0,015). No se observa un efecto significativo de tratamiento, en ambos micrositios (p>0,9).

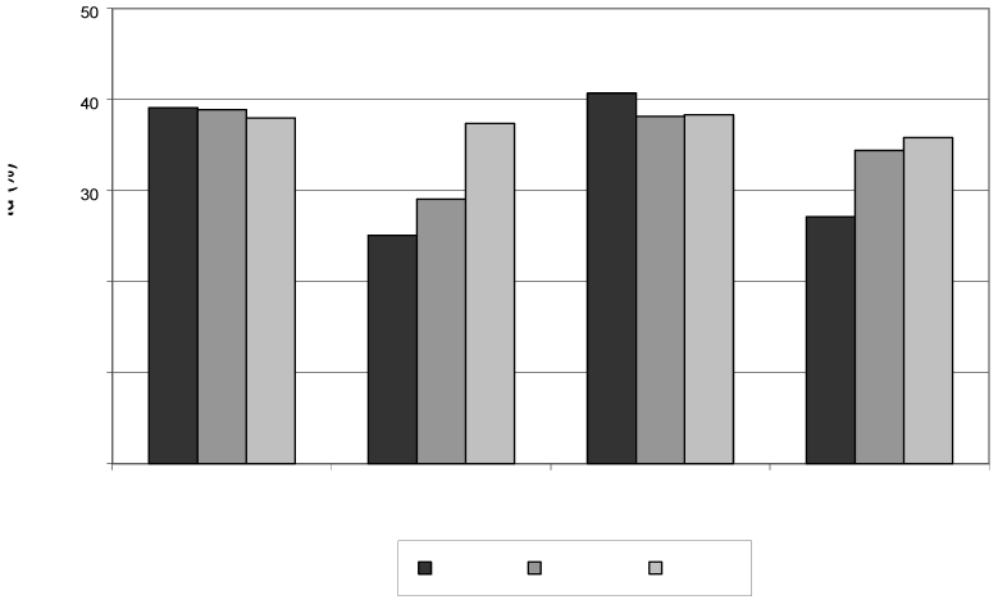


Figura 4. Macroporosidad en diferentes sitios, tratamientos y profundidades (cm).

Entre las diferentes profundidades existen diferencias significativas (p=0,02). Existe interacción significativa entre sitio y profundidad (p<0,01), debido al comportamiento diferencial que muestran ambos micrositios. De 20 a 30 cm de profundidad los valores son similares en ambos micrositios y tratamientos. Para aquellos bajo arbusto la macroporosidad es semejante para todas las profundidades. En tanto, en los micrositios entre arbustos, aumenta con la profundidad.

Microporosidad

Los valores de microporosidad variaron entre 12,82 y 16,39 %**,** correspondientes a los primeros 20 cm de Rb y a los primeros 10 cm de Re respectivamente (**Figura 5**). Existen diferencias significativas en la microporosidad entre sitios (p<0,01), aunque no existen diferencias

significativas entre tratamientos a un nivel de probabilidad del 5 %. Se observa un efecto significativo de la profundidad del suelo (p<0,01). La interacción sitio por profundidad es significativa (p<0,01). Al igual que la macroporosidad, la microporosidad en los sitios bajo arbusto es similar en las distintas profundidades. En los sitios entre arbustos la microporosidad es máxima en los primero 10 cm de suelo, disminuyendo en profundidad.

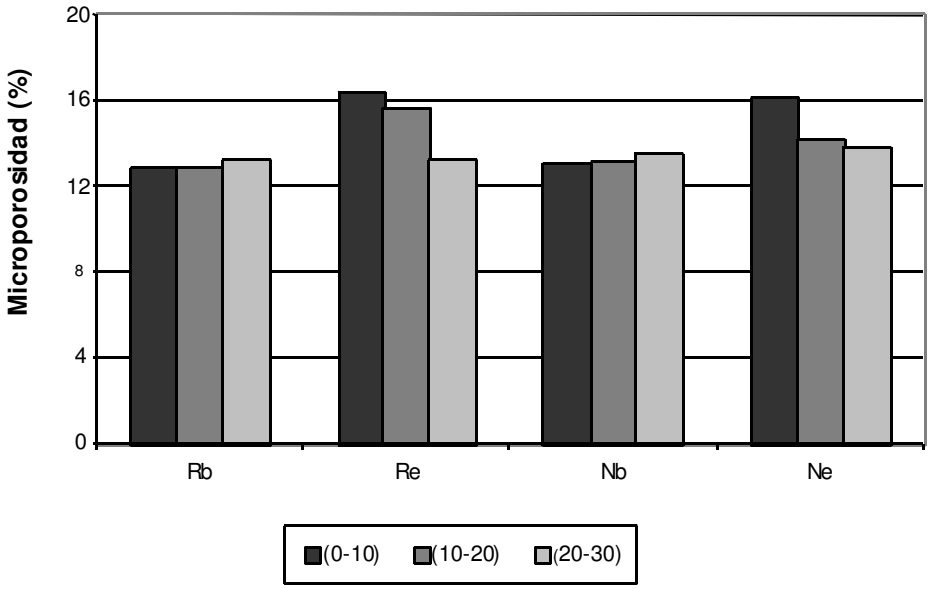


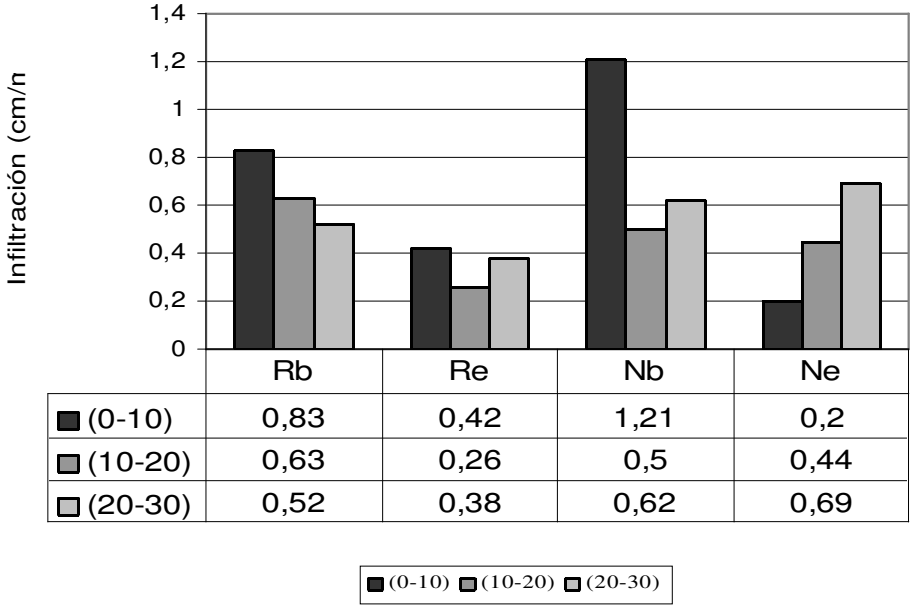
Figura 5. Microporosidad en diferentes sitios, tratamientos y profundidades (cm).

Infiltración

El sistema poroso del suelo impacta directamente sobre las entradas y salidas de agua, en la entrada y difusión de los gases y calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces. La capacidad de almacenaje y movimiento del agua en el suelo dependerá de la porosidad del mismo. La relación entre la porosidad y el agua en el suelo regula el estado hídrico del mismo, afectando la mineralización del carbono y nitrógeno del suelo, y en definitiva el crecimiento de la vegetación.

En los primeros 10 cm de profundidad, se observó la mayor variabilidad de la tasa de infiltración. El valor máximo y mínimo correspondieron al tratamiento natural, siendo éstos 1,21 $cm.mín^{-1}$ para la posición bajo arbusto y 0,2 $cm.mín^{-1}$ para la posición entre arbustos (**Figura 6**). En la misma capa de suelo existieron diferencias significativas entre los sitios bajo y entre arbusto (p<0,01). Si bien no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, en la Figura 6 se

muestra como el rolado tiende a disminuir las diferencias en la tasa de infiltración de los sitios bajo y entre arbustos. Probablemente esto se deba al efecto que producen las cuchillas del rolo al romper el encostramiento superficial, mejorando la infiltración y favoreciendo el crecimiento de la vegetación. Por otro lado, en los sitios bajo arbusto se da la situación inversa es decir que la tasa de infiltración en la capa superficial disminuye en Rb respecto a Nb, debido al paso del rolo y al posterior pisoteo del ganado.



	Rb	Re	Nb	Ne
(0-10)	0,83	0,42	1,21	0,2
(10-20)	0,63	0,26	0,5	0,44
(20-30)	0,52	0,38	0,62	0,69

Figura 6. Tasas de infiltración en diferentes sitios, tratamientos y profundidades (cm).

La aireación y el movimiento gravitacional del agua, dependen de los macroporos. Su cantidad, distribución y continuidad se relacionan con la capacidad del suelo para captar agua de lluvia. La compactación del suelo a causa del pisoteo de los animales y el paso de maquinaria agrícola, reduce la capacidad de infiltración del agua de lluvia. Los residuos en superficie tienden a disminuir este efecto, favorecen la infiltración y reducen las perdidas por evaporación, a la vez que protegen el suelo de los procesos erosivos (Adema *et al.*, 2001).

Carbono Orgánico

En general, las variables presentaron un comportamiento similar en los diferentes tratamientos y micrositios. En todos los casos los macronutrientes estudiados disminuyen su contenido a medida que aumenta la profundidad del suelo, sin embargo no se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los diferentes micrositios (**Tabla 5**).

Tabla 5. ANOVA y niveles de significancia de las variables de suelo estudiadas.

Variables	Trt	Sit	trt*sit	prf	trt*prf	sit*prof	trt*sit*prf
CO ($g.Kg^{-1}$)	*	NS	NS	**	NS	*	NS
N ($g.Kg^{-1}$)	NS	NS	NS	**	*	*	NS
P ($mg.Kg^{-1}$)	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS

En los sitios rolados el contenido de CO aumentó ($p<0,10$) en los primeros 10 cm del perfil de suelo. La mayor concentración de CO se encuentra en la capa superficial del suelo, con una marcada disminución en profundidad (**Figura 7**). Los valores medios para el monte rolado fueron de: 8,7 $g.kg^{-1}$ (0-10 cm), 4,9 $g.kg^{-1}$ (10-20 cm) y 4,5 $g.kg^{-1}$ (20-30 cm), mientras que en el monte natural fueron de: 7,4 $g.kg^{-1}$ (0-10 cm), 4,6 $g.kg^{-1}$ (10-20 cm) y 4,3 $g.kg^{-1}$ (20-30 cm).

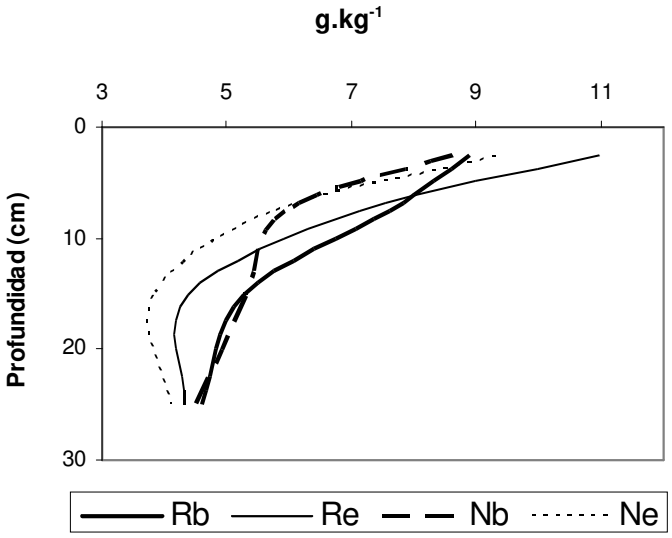


Figura 7. Contenido de carbono orgánico en diferentes sitios, tratamientos y profundidades.

Numerosos estudios coinciden que la materia orgánica es el indicador que posee la influencia más significativa sobre calidad de suelo y su productividad (Gregorich et al., 1994). Por lo tanto, los

efectos que produce el manejo del suelo sobre esta variable, deben determinarse en sitios específicos. Con relación a ello, el CO es el atributo frecuentemente escogido como el indicador más importante de calidad del suelo y de sustentabilidad agronómica (Reeves, 1997).

Nitrógeno Total

El N no mostró diferencias significativas entre sitios (p=0,75), ni entre tratamientos (p=0,75), sin embargo se observó una disminución significativa (p>0,01) con el aumento de la profundidad (**Figura 8**). Los valores medios de N para los sitios de monte natural fueron de 0,81 $g.kg^{-1}$ (0-10 cm), 0,55 $g.kg^{-1}$ (10-20 cm) y 0,55 $g.kg^{-1}$ (20-30 cm), mientras que para los sitios rolados los valores medios de N fueron: 0,79 $g.kg^{-1}$ (0-10 cm), 0,76 $g.kg^{-1}$ (10-20 cm) y 0,54 $g.kg^{-1}$ (20-30 cm).

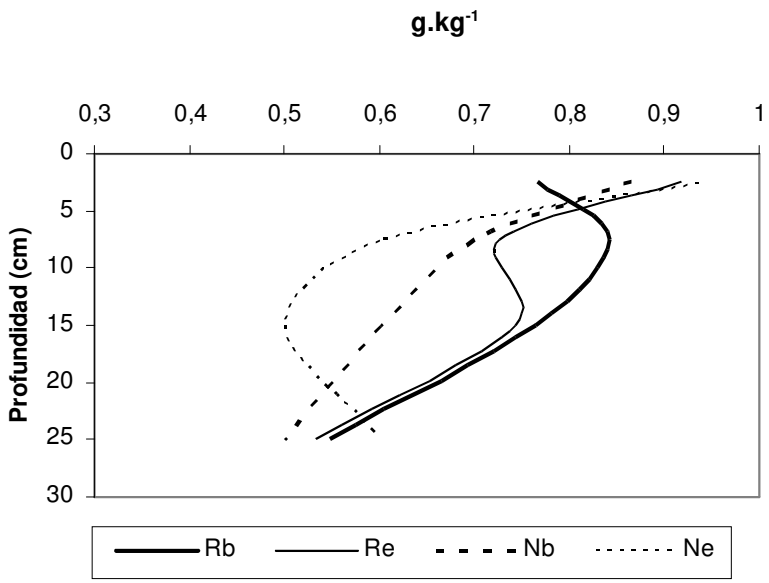


Figura 8. Contenido de Nitrógeno total en diferentes sitios, tratamientos y profundidades.

La relación C/N disminuye en profundidad en ambos tratamientos. En el rolado alcanza valores de 12 en la capa de 0 a 5 cm de profundidad, en tanto que en el natural la relación C/N llega a 10. Esto se debe a la incorporación de broza producto del triturado de las leñosas.

Fósforo

El P no mostró diferencias significativas entre sitios (p=0,53), ni entre tratamientos (p=0,30), sin embargo se observó una disminución significativa (p>0,01) con el aumento de la profundidad (**Figura 9**). El contenido de fósforo posee valores medios para el monte rolado de 20,6 $mg.Kg^{-1}$ (0-

10 cm), 8,6 mg.Kg^{-1} (10-20 cm), 4,1 mg.Kg^{-1} (20-30cm). En el monte natural 18,7 mg.Kg^{-1} (0-5 cm), 8,0 mg.Kg^{-1} (10-20 cm) y 3,9 mg.Kg^{-1} (20-30cm). No se observan diferencias entre ambos tratamientos para esta variable.

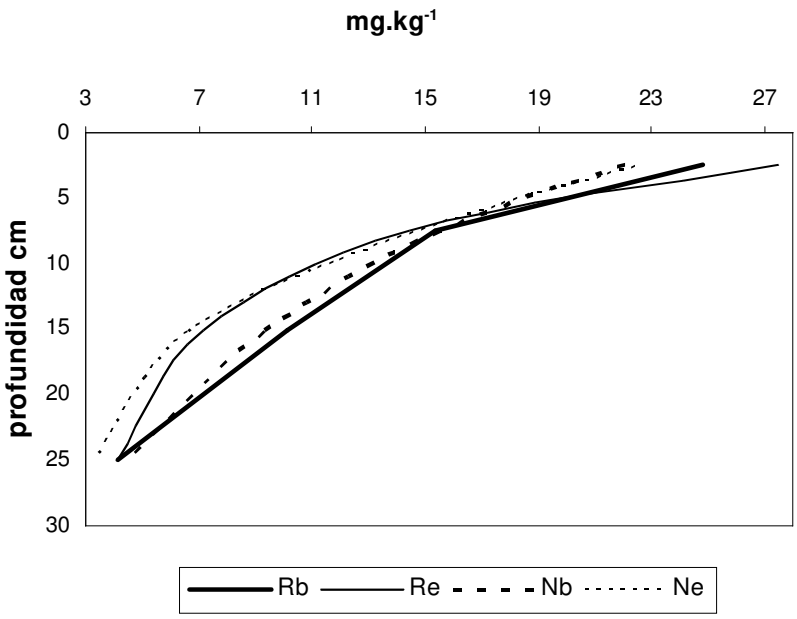


Figura 9. Contenido de Fósforo disponible en diferentes sitios, tratamientos y profundidades.

Los materiales originarios son, en condiciones normales, prácticamente la única fuente de fósforo en el suelo, siendo el mismo relativamente inmóvil en el suelo. Las transformaciones de fósforo han sido utilizadas por varios investigadores como índice de la intensidad relativa del desarrollo del suelo (Bauwin y Tyner, 1957 a, Bawin y Tyner, 1957 b). El fósforo total disminuye conforme aumenta el grado de desarrollo del suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio en un suelo de la región semiárida-árida del Caldenal-Monte Occidental muestran que el control del monte mediante el uso de rolo cortador produce cambios favorables sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo sin detectarse cambios negativos en ninguna de las variables estudiadas.

En los primeros 20 cm del perfil del suelo, la densidad aparente es mayor en los sitios entre arbustos con respecto a los sitios bajo arbusto, como consecuencia del pisoteo del ganado, mientras

que el rolado no mostró efectos sobre esta variable. Similar comportamiento fue verificado en la macro y microporosidad del suelo.

La infiltración en los primeros 10 cm del suelo es mayor en los sitios inaccesibles al pastoreo (bajo arbusto) que en los sitios pastoreados (entre arbustos). Sin embargo, el rolado provocó una reducción en las diferencias de las tasas de infiltración entre ambos sitios.

En los sitios accesibles al pastoreo, la resistencia a la penetración es mayor en superficie y disminuye en profundidad. En tanto que en los sitios protegidos por los arbustos, la resistencia a la penetración es mayor entre 10 y 20 cm de profundidad. En ambos sitios el rolado provocó una mayor densificación del suelo, sin consecuencia para el estrato graminoso-herbáceo.

El rolado aumentó el contenido de carbono orgánico en los primeros 10 cm de profundidad del suelo. Esto estaría dado por el mayor contenido y descomposición parcial de la broza en la superficie del suelo, aportada por el triturado de las leñosas. No se observaron cambios en los contenidos de nitrógeno y fósforo.

Probablemente, algunas de las propiedades edáficas se encuentren en proceso de cambio, los que podrían manifestarse en el futuro como consecuencia del proceso de evolución secundaria inducido por la aplicación de la labor y el manejo posterior. Los antecedentes muestran un fuerte impacto sobre variables de la vegetación, en particular sobre el aumento de producción y densidad de gramíneas, las cuales, acompañadas de un manejo adecuado a las condiciones ambientales de la región, podrían afectar los procesos de cambio en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Adema, E. O. 2006. Recuperación de pastizales mediante rolado en el Caldenal y en el Monte Occidental. Publ.Técnica N° 65. Ed. INTA Anguil. 52 pp.

Adema, E. O. 2000. Erosión hídrica en dos suelos de pastizal bajo diferentes porcentajes de cobertura vegetal y mantillo en la Región del Caldenal Pampeano. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. UNS. Bahía Blanca. 102 pp.

Adema E. O. y F. Babinec. 2002. Área accesible al pastoreo en un arbustal-pastizal rolado de Chacharramendi, L.P. VIII Jornadas de Ciencias Naturales. 49-51

Adema E. O., F.J. Babinec y N. Peinemann. 2001. Pérdida de nutrientes por erosión hídrica en dos suelos del Caldenal Pampeano. Ciencias del Suelo. 19 (2).144-154.

Adema, E. O., D. E. Buschiazzo, F. J. Babinec, T. E. Rucci and V. F. Gómez Hermida. 2004. Mechanical control of shrubs in the semiarid argentina and its effects on soil water content and grassland productivity. ELSEVIER. Agricultural Water Management. 68: 185-194.

Barth, R. C. and J. O Klemmedson,. 1978. Shrub-induced spatial patterns of dry matter, nitrogen, and organic carbon. Soil Science Society of America Journal, 42: 804-809.

Bauwin, G. R. and E. H. Tyner. 1957 a. The distribution of non-extractable phosphorus in Gray-Brown Podzolic, Brunizem, and Planosol soil profiles. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21: 245-250.

Bauwin, G. R. and E. H. Tyner. 1957 b. The nature of reductant soluble phosphorus in soils and soil concretions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21: 250-257.

Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal. 54: 464-465.

Coleman, D. C. y D. A. Crossley Jr. 1996. Fundamentals of Soil Ecology. Academic Press, New Cork, USA.

Covas, G. 1989. Evolución del manejo de suelos en la Región Pampeana Semiárida. Actas de las primeras Jornadas de Suelos de Zonas Aridas y Semiáridas. INTA Anguil, Fac. Agron. UNLPam., Asoc. Arg. Cs. Suelo, Gob. Prov. La Pampa y CONICET. 1-11.

Covas, G., y A. E. Glave. 1988. Erosión. Provincia de La Pampa. En: El deterioro del ambiente en la Argentina. Fundación para la educación, la ciencia y la cultura. FECIC. 109-114.

FAO, 1993. Estudio sobre las razones del éxito o fracaso de los proyectos de conservación de suelos. Boletín Nº 64.

Gavande, S. 1991. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa.

Gregorich E., M. Carter, D. Angers, C. Monreal and B. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. Can. J. Soil Sci. 74: 367-385.

Hennessy, J. T., Gibbens, R. P., Tromble, J. M. and M. Cardenas. 1985. Mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr.) dunes and interdunes in southern New México: a study of soil properties and soil water relations. Journal of Arid Environments, 9: 27-38.

Helalia, A. M. 1993. Agr. Water Manage. 24: 39-47.

Iglesias J. O., J. A. Galantini, R. A. Rosell, A. M. Miglierina y M. R. Landriscini. 1996. Cambios en la distribución del espacio poroso de un suelo Entic Haplustoll con diferentes secuencias de cultivos de la región Semiárida Argentina. Agricultura Técnica 56 (1): 43-48.

INTA, Prov. de La Pampa, UNLPam. 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Prov. de La Pampa. 493 pp.

Jacyszyn, B. y A. Pittaluga. 1977. Suelos del área de Chacharramendi, provincia de La Pampa. CIRN, Castelar. 42 pp.

Jenny, H. 1941. Factors of soils formation. McGraw-Hill, New York.

Kiessling R., J. Galantini, J. Iglesias, H. Kruger y S. Venanzi. 2007. Efectos de corto plazo sobre el espacio poroso en sistemas mixtos. Revista Técnica especial en S.D. Aapresid. 85 pp.

Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Adv. Soil Sci. 1:277-294.

Noy-Meir, I. 1980. Structure and function of desert ecosystems. Israel Journal of Botany, 28: 1-19.

Parr J. and R. Papendick. 1997. Soil quality: Relationships and strategies for sustainable dryland farming systems. Annals of Arid Zone 36: 181-191.

Pordomingo, A.J., E. Adema, A.B. Pordomingo y T. Rucci. 2004. Uso ganadero de montes rolados en la provincia de La Pampa. EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". Boletín de Divulgación Técnica Nº 79. Ed. INTA Pag: 164 -168.

Reeves D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil Till. Res. 43: 131-167.

Rostagno, C. M. and H. F. Del Valle. 1988. Mouns associated with shrubs in aridic soils of Northeastern Patagonia: characteristics and probable genesis. Catena. 15: 347-359.

Rostagno, C. M., H. F. Del Valle and L. Videla. 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. Jour. of Arid Environments. 20: 179-188.

Ruan, H., L. R. Ahuja, T. R. Green and J. G. Benjamín. 2001. Residue cover and surfase-sealing effects on infiltration: Numerical simulation for field applications. Soil Sci. Soc. Am. J. 65, 853-861.

SAS Institute. 1988. SAS/STAT User´s Guide, Version 6, 2nd. Edition. SAS Institute INC. Cary, NC, pp. 1088.

Schlesinger, W. H., J. F. Reynolds, G. L. Cunningham, L. F. Huenneke, W. M. Jarrell, R. A. Virginia y W. G. Whitford. 1990. Biological feedbacks in global desertification. Science 247: 1043-1048.

Schlichting E., P. Blume y K. Stahr. 1995. Bodenkundliches Praktikum. Parey, Hamburg, 166 pp.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 1995. "El deterioro de las tierras en la República Argentina." En Alerta Amarillo. 287 p.

Swift, M. J., O. W. Heal y J. M. Anderson. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Univ. of California Press, Berkeley an Los Angeles, California, USA.

Tiedemann, A. R. y J. O. Klemmedson. 1973. Effect of mesquite on physical and chemical properties of the soil. Journal of Range Management, 26: 27-29.

Thurow, T. L. 1991. Hidrology and erosion. *In:* Grazing management an ecological perspective. Ed. By Radney K. Heitschmidt, and Jerry W. Stuth. Pp: 141-159.

Thurow, T. L., W. H. Blakburn and C. A. Taylor, Jr.1988. Infiltration and interril erosion responses to selected livestock grazing strategies, Edwards Plateau, Texas. J. Range Manage. 41: 296-302.