

ROLADO DE 'FACHINALES' E INFILTRACIÓN DE AGUA EN SUELO EN EL CHACO OCCIDENTAL (ARGENTINA)

KUNST, CARLOS; LEDESMA, ROXANA; BASAN NICKISH, MARIO; ANGELLA, GABRIEL; PRIETO, DANIEL; GODOY, JOSÉ ¹

RESUMEN

El rolado es un tratamiento mecánico que trata de solucionar el problema de la baja receptividad y accesibilidad de fachinales o arbustales causados por manejo inadecuado del campo natural en la región chaqueña occidental. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto instantáneo, y luego de una estación de crecimiento, del rolado y la presencia/ tipo de mantillo sobre el proceso de infiltración de agua en el suelo, un indicador clave de calidad del mismo. Se evaluaron dos ensayos, realizados en 1997 y 1999, respectivamente. Los tratamientos fueron rolado y testigo. La infiltración se evaluó mediante el infiltrómetro de doble anillo, estimándose la velocidad de infiltración mediante el modelo de Kostiakov, que ajustó muy bien a los datos de lámina infiltrada en función del tiempo. Se realizó un análisis de la varianza, empleando como variables independientes: tratamiento (rolado y testigo), sitio de pastizal (alto,

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero,
Jujuy 850, 4200, Santiago del Estero, Argentina
E-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

media loma y bajo) y presencia/tipo de mantillo (suelo desnudo, mantillo de gramíneas y de leñosas). Las variables dependientes fueron infiltración básica (I_b , $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) y el tiempo (T , min) que tarda el suelo en generar escorrentía ante una intensidad de precipitación de $75 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, evento con un tiempo de retorno de 1,25 años en la zona. A pesar de la gran variabilidad espacial observada en los parámetros de infiltración, los resultados indican que el rolado disminuyó la I_b con respecto al testigo, sugiriendo una modificación del proceso de infiltración en los ecosistemas tratados, aunque el efecto parece ser de corta duración en el tiempo. El efecto fue diferencial por sitio de pastizal, siendo el alto el sitio más afectado. La mayor influencia sobre I_b y T la ejerció la presencia y el tipo de mantillo vegetal ($p < 0,05$), factor asociado especialmente a la cobertura de leñosas. Se recomienda no pastorear inmediatamente luego del rolado ni tampoco aplicar fuego de manera indiscriminada, a fin de no potenciar este efecto negativo del rolado sobre la calidad de suelos.

Palabras claves: *pastizal natural, rolado, infiltración de agua*

SUMMARY

Roller chopping of shrublands originated by improper grazing management is a tool widely used for range improvement in the western Chaco region of Argentina. The purpose of this research was to assess the effect of roller-chopping on the process of soil water infiltration, a key indicator of soil quality, in two field experiments conducted in 1997 and 1999, respectively. Soil water infiltration was assessed by the double ring infiltrometer, and field data were adjusted using the Kostikov equation. An analysis of variance was performed using as independent variables: treatment (roller-chopper and control), range site (upland, midland and bottom), and presence and type of litter; dependent variables were: basic or steady state infiltration (I_b , $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) and the time (T , min) needed for starting runoff by a rainfall of an $75 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, an event with a return time of 1,25 years in the area. Although field data showed high spatial variability, results indicate that roller-chopping diminished I_b suggesting that the process of water infiltration is affected in treated ecosystems, although the effect did not last throughout time. The upland

was the site most affected. The presence and type of litter, a factor associated with tree and shrub cover, significantly modified lb. Grazing and use of fire after the roller-chopping should be carefully managed in order to avoid enhancement of the negative influence of roller chopping on soil quality.

Key words: *rolling chopper, infiltration rate, range improvement.*

INTRODUCCIÓN

En la región chaqueña argentina, la tala, el sobrepastoreo y el mal manejo de la vegetación natural promueven el desarrollo de 'fachinales', vegetación de bajo potencial ganadero actual debido a su escasa oferta forrajera y dificultad de tránsito y acceso (Kunst *et al.*, 1999).

El fachinal es una comunidad vegetal dominada por especies leñosas arbustivas y arbóreas de baja altura, pertenecientes en general a los géneros *Prosopis*, *Acacia*, *Celtis* y *Schinus* (Bordón, 1983; Cabido y Zak, 1999). La densidad de leñosas puede ser muy alta, aproximadamente, 2000 plantas/ha⁻¹ de distinto diámetro (Kunst *et al.*, 1998). El horizonte superficial del suelo puede estar compactado y/o cubierto de costras que limitan la infiltración del agua de lluvia y favorecen la escorrentía. Los aspectos anteriores disminuyen la aptitud ganadera e influyen en forma negativa sobre la sostenibilidad ecológica y económica del sistema productivo. El control y/o tratamiento del fachinal es un objetivo necesario para aumentar la receptividad de los establecimientos de cría del noroeste (Fumagalli *et al.*, 1997).

El tratamiento agronómico empleado para solucionar el problema de los fachinales es el "rolado", que consiste en el pasaje de un rolo traccionado por tractor o topadora. El rolo es un cilindro de metal armado de cuchillas, de 2-3 m de diámetro y 2-3 m de largo, que se llena de agua y alcanza un peso de 4500-5000 kg. El rolo "aplata" el fachinal y deja en pie las leñosas de mayor diáme-

tro, y puede ser acompañado con siembra de gramíneas subtropicales (Ej. *Panicum maximum* cv *Trichoglume* cv green panic). El resultado es un "parque" compuesto por leñosas y pasto. El rolado es muy rápido en el tiempo y es menos agresivo que el desmonte total para el ecosistema original; genera aumentos entre el 100 y el 300 % respecto de la oferta inicial de materia seca de gramíneas, lo que incrementa significativamente la receptividad de los potreros tratados (Galera, 1990; Kunst *et al.*, 1999).

A pesar de que la práctica de rolado está muy difundida en la región chaqueña, el conocimiento de sus efectos sobre los procesos biológicos y físicos de los ecosistemas tratados es escaso. Los antecedentes existentes indican que como consecuencia del rolado se genera una diferente ocupación del espacio por las especies presentes y una mayor diversidad en términos de cobertura y frecuencia de especies vegetales, registrándose también aumentos temporales del contenido de humedad en el horizonte superficial del suelo y en la disponibilidad de luz (Galera, 1990; Kunst *et al.*, 1999). No existe información sobre el efecto del rolado en los procesos del ciclo hidrológico, clave en zonas semiáridas como la región chaqueña occidental. Esa información es necesaria para lograr un uso apropiado de los ecosistemas y pasturas (Naeth *et al.*, 1991; Hester *et al.*, 1996, Nívar y Cinto, 2000).

En formaciones vegetales dominadas por especies leñosas se produce intercepción de lluvia por el dosel y troncos de las mismas, disminuyendo su energía cinética y facilitando una absorción más eficiente de agua por el suelo (Haworth y McPherson, 1994, Binkley y Giardina, 1998, Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1998, Wainwright *et al.*, 1999, Acuña y Juárez, 2001). La cantidad interceptada en la región chaqueña por bosques y arbustales puede alcanzar hasta el 20 % de la lluvia caída en el año (Acuña y Juárez 2001). Al ser eliminado parte del dosel leñoso por el rolado, una mayor cantidad de agua llega directamente al suelo, adquiriendo así el proceso de infiltración propiamente dicho mayor importancia dentro del ciclo hidrológico a una escala local.

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo y es uno de los más importantes del ciclo hidrológico (Cerdá, 1996). La velocidad de infiltración, con relación a la velocidad del suministro de agua, determina cuanta agua penetra en la zona no saturada y cuanto se pierde por escorrentía (Hillel, 1982, Cerdá, 1996, Franzluebbbers, 2001, Návar y Synnott, 2000; Cook y Stubbendieck, 1986). La velocidad de infiltración (cantidad de agua infiltrada por unidad de tiempo) es considerada por algunos autores como un indicador clave de calidad del suelo (Weixelmann *et al.*, 1996, Arshad y Martin, 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto que genera el tratamiento rolado y la presencia y tipo de mantillo sobre el proceso de infiltración de agua en el suelo en ecosistemas de la región chaqueña occidental, degradados desde un punto de vista ganadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar de estudio

El ensayo se realizó en el área de secano del campo experimental "La María" perteneciente a la Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, ubicado en Ruta Nacional N°9 al sur de la ciudad de Santiago del Estero, a 28° 3' S. y 64° 15' O. El clima es subtropical semiárido. Los inviernos son fríos y secos con veranos cálidos y lluviosos (Boletta, 1988). La precipitación promedio anual alcanza 574 mm (Observatorio Meteorológico EEA INTA Santiago del Estero). Los suelos pertenecen a la serie La María y fueron clasificados como Haplustoles torriorténticos, de textura franca gruesa, mixta, hipertérmica (Soil Survey Staff, 1987). Son bien drenados, desarrollados sobre sedimentos eólicos de la planicie de la Bajada Distal Ancasti-El Alto. El horizonte superficial (Ap) es de 20 cm de espesor, de color pardo amarillento oscuro, con textura franco

limosa, estructura en bloques subangulares medios, débiles y bien provistos de materia orgánica (Área de Recursos Naturales, EEA INTA Santiago del Estero, 2003, comunicación personal). La densidad aparente promedio de los suelos tratados es de $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$ aprox. (Anriquez y Albanesi, 2003, comunicación personal).

A una escala local, los suelos y la vegetación del Campo Experimental se distribuyen a lo largo de un gradiente topográfico o catena desde el 'alto', con suelos de textura gruesa y donde se encuentra el bosque de *Aspidosperma quebracho blanco* y *Schinopsis quebracho colorado*, hasta la sabana de *Elionorus muticus* (aibe) en el bajo, con suelos de textura más fina y con mayor desarrollo (Kunst et al., 1998; Lorenz, 1996, comunicación personal). Los 'parques' se ubican en la media loma. Este conjunto de vegetación y suelos pueden asimilarse a tres sitios de pastizal denominados 'alto', 'media loma' y 'bajo', respectivamente que son característicos a toda la región chaqueña (Bucher, 1982; Kunst et al., 1998). Los arbustales o fachinales son ubicuos y poseen distinto origen (falta de fuego, sobrepastoreo, etc).

Tratamientos

Sobre la base de fotointerpretación y fotolectura de imágenes remotas del Campo Experimental a distintas escalas y a la experiencia de los autores, se seleccionaron dos áreas (I y II) conteniendo los tres sitios de pastizal descriptos. Ambas poseían un estrato medio compuesto por un 'fachinal' continuo desde el alto al bajo de 2-3 m de altura. De la sabana sólo quedaban plantas relicto de *Elionorus muticus* en el sector bajo del área II, mientras que la densidad de quebracho colorado y blanco en el sector alto y media loma de las dos áreas fue considerada aceptable. En las áreas mencionadas se implementaron dos ensayos, E1 y E2, iniciados en 1997 y 1999 respectivamente.

En ambos ensayos los tratamientos fueron: testigo, rolado sin siembra y rolado con siembra instantánea de *Panicum maximum* cv *Trichoglume* cv green panic a una densidad de 6 kg/ha^{-1} . Los tratamientos de rolado se aplicaron mediante dos

pasadas oblicuas de rolo tirado por topadora en una parcela de 3 ha de superficie, que contenía los tres sitios de pastizal, sin repeticiones, en febrero de 1997 y 1999, respectivamente. Las parcelas no fueron pastoreadas durante el transcurso de los estudios.

Determinación de infiltración.

Para determinar los datos básicos de infiltración se empleó el infiltrómetro de doble anillo, que consiste de un anillo externo de 63 cm de diámetro y uno interno de 33 cm de diámetro, respectivamente (Naeth *et al.*, 1991). El agua fue agregada en ambos anillos para mantener el nivel inicial. El nivel de agua del anillo interno fue medido visualmente con regla graduada (0,1 cm de precisión) a los 30 segundos, 1 minuto, 3 minutos, 5 minutos y luego cada 5 minutos hasta completar 90 minutos desde el inicio. El tiempo fue monitoreado con cronómetro de bolsillo (milésimas de segundo de precisión). Las determinaciones de infiltración se efectuaron durante los meses de julio y agosto de cada año. Estudios paralelos de dinámica de humedad indican que en esa época los suelos se encuentran con un contenido promedio de humedad de 3-4 %, debido a la ausencia natural de lluvias.

Las estimaciones de la infiltración se realizaron en dos fases:

Fase I: comprende los años 1997 y 1998, empleándose E1.

Fase II: año 1999, empleándose E2.

Fase I: Año 1997. El objetivo de esta determinación fue analizar el efecto instantáneo del pasaje del rolo sobre la infiltración de agua en el suelo. La infiltración se determinó en dos tratamientos, a) rolado y b) testigo. Se efectuaron dos observaciones de infiltración por tratamiento y sitio. La ubicación del infiltrómetro en el espacio se realizó al azar. Se emplearon los tratamientos rolado solo y rolado con siembra como replicaciones del rolado.

Año 1998. El objetivo fue analizar el efecto del rolado después de una estación de crecimiento. Se evaluaron los siguientes tratamientos: a) rolado sin siembra; b) rolado con siembra y c)

testigo. Se efectuaron dos observaciones de infiltración por tratamiento y sitio. En esta etapa se incorporó una nueva variable clasificatoria, la presencia y clase de cobertura de mantillo del suelo, categorizando al punto de observación de manera visual como: (1) sin mantillo, suelo desnudo; (2) con mantillo de pasto y (3) con mantillo de leñosas. Se definió como mantillo a la hojarasca y ramitas de leñosas, latifoliadas y gramíneas depositadas naturalmente o por efecto del rolo en la superficie del suelo. La ubicación del infiltrómetro en el espacio se realizó al azar.

Fase II: El objetivo fue analizar el efecto instantáneo del rolado y precisar el efecto de la presencia/ausencia de mantillo. Se evaluaron a) rolado con siembra de pasturas y b) testigo, presencia y clase de cobertura del suelo, no evaluándose sitio en este caso. Se efectuaron dos observaciones por cada tratamiento y factor de clasificación. La ubicación del infiltrómetro en el espacio se realizó al azar.

Estimación de la curva de infiltración y de sus parámetros.

Los valores de lámina infiltrada registrados en cada punto de observación fueron ajustados al modelo de Kostiakov a través de un análisis de regresión no lineal empleando el paquete estadístico SPSS versión 7. Dicha ecuación fue seleccionada debido a su aplicación en el estudio de la infiltración en ambientes semiáridos (Williams *et al.*, 1998, Naeth *et al.*, 1991). La ecuación de Kostiakov es empírica, simple, con dos parámetros (fórmula 1, Naeth *et al.*, 1991):

$$[1] L = k * \text{tiempo}^m$$

donde L = lámina de infiltración acumulada expresada en mm, k = constante empírica, no posee unidades, asociada a la infiltración inicial e influenciada por las condiciones del horizonte superficial del suelo; m = constante que refleja las condiciones intrínsecas del suelo, tales como textura, estructura y estabilidad del espacio poroso.

La velocidad de infiltración de cada observación de campo se calculó mediante la primera derivada de la ecuación de Kostiaikov (fórmula 2)

$$[2] I = 60 \cdot k \cdot m \cdot \text{tiempo}^{m-1}$$

donde I = velocidad de infiltración en mm.h⁻¹.

Durante el proceso de infiltración el agua se desplaza a través de los poros del suelo, comenzando a llenar parte de la porosidad total, pasando gradualmente de un régimen de circulación no saturado a uno saturado, donde todos los poros del suelo están llenos de agua (Santa Olalla Mañas y Valero, 1993; Hillel, 1980). Así, la velocidad de infiltración del agua disminuye conforme aumenta la cantidad penetrada en el suelo hasta que al cabo de un tiempo llega a estabilizarse. Esta magnitud de I se denomina velocidad de infiltración básica (I_b, Santa Olalla Mañas y Valero, 1993). En la práctica se seleccionó a la I_b como aquella que presentó una variación < 10 % en comparación con el registro anterior, empleando intervalos de 1 minuto. El tiempo para alcanzar la I_b se denomina tiempo básico (T_b, Santa Olalla Mañas y Valero, 1993).

El proceso de infiltración está ligado a la intensidad de las lluvias. Empleando datos de intensidad de lluvia, duración y recurrencia observados en la ciudad de Santiago del Estero en el período 1956-86 se observó que una intensidad de 75 mm.h⁻¹ durante 10 minutos posee una recurrencia de 1,25 años (Basan Nickish, 1992). Esta intensidad, que es esencialmente una velocidad de infiltración, se introdujo en la fórmula 2, despejándose el tiempo = T para cada observación. La variable T se interpreta como el tiempo, expresado en minutos, a partir del cual un evento de lluvia de esta intensidad comienza a generar escorrentía de agua.

Análisis estadístico

Se estimó el valor promedio de las constantes k, m, I_b, T_b y T para todos los tratamientos.

Se realizó un análisis de la variancia utilizando como variables dependientes I_b y T de cada determinación de infiltración efectuada.

Las variables independientes fueron:

Fase I, 1997: tratamiento y sitio;

Fase I, 1998 tratamiento, sitio, presencia y tipo de mantillo; y

Fase II, 1999, tratamiento, presencia y tipo de mantillo.

Los tratamientos fueron: rolado solo, rolado con siembra y testigo. Sitio y presencia/tipo de mantillo fueron consideradas variables clasificatorias. Todas las variables fueron consideradas fijas. La variable 'tratamiento' representa el efecto del pasaje del rolo. Los procesos naturales tales como la infiltración responden a fuentes de variación que operan a distintas escalas dentro del ecosistema, espacialmente heterogéneo. La comprensión del grado de influencia de estas distintas fuentes de variación sobre un proceso en particular es esencial para predecir resultados y generar recomendaciones de manejo de los ecosistemas (Ludwig y Tongway, 1995; Blöschl *et al.*, 1995; Hobbs y Morton, 1999). Las variables 'sitio de pastizal' y 'presencia y tipo de mantillo' representan la heterogeneidad espacial a dos escalas: la primera originada por la variabilidad ecosistémica del paisaje con cambios a distancias mayores a 1000 m (Blöschl *et al.*, 1995) asociados al efecto de la textura y estructura intrínseco de los distintos tipos de suelos presentes a lo largo de la catena o gradiente topográfico característico de la región chaqueña argentina. La segunda está asociada al efecto local de la presencia de leñosas y herbáceas, actuando a distancias menores a 30 m (Binkley y Giardina, 1998). La introducción de estas dos variables clasificatorias tuvo como objetivo evaluar y separar estas dos fuentes de variación, de marcada influencia potencial sobre la velocidad de infiltración (Blackburn *et al.*, 1992).

Se evaluaron distintos modelos estadístico-matemáticos que incluyeron factores principales y sus interacciones; los términos de la ecuación no estadísticamente significativos ($P < 0,05$) fueron incorporados al error experimental (Underwood, 1997).

El efecto a mediano plazo del rolado se evaluó mediante el enfoque 'Before and after impact' (BACI) propuesto por

Underwood (1994), solo en la Fase I. La significancia de la interacción tiempo x tratamiento fue considerada como evidencia del impacto del rolado a través del tiempo (Underwood, 1994).

En forma previa a los análisis estadísticos se evaluaron la normalidad y la homogeneidad de las varianzas de las variables dependientes. Como consecuencia de ello, las variables Ib y T fueron transformadas a rangos (Conover, 1980).

Se empleó el test de Duncan para la separación de medias. En todos los análisis estadísticos se empleó un $\alpha=0,10$. Para los cálculos estadísticos se usó el paquete estadístico SPSS versión 7.0.

Teniendo en cuenta que la velocidad de infiltración de agua es un indicador de la calidad de suelos, una reducción de Ib y T con respecto al testigo se interpretó como un efecto negativo del rolado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento rolado modificó profundamente la fisonomía de la vegetación en comparación con la de los testigos: aplastó la vegetación leñosa, especialmente árboles de baja altura y arbustos, dejando montones consistentes de ramas y hojas. La rugosidad de la superficie del suelo fue alterada a través de cortes de profundidad 5-10 cm, y por la presencia de residuos vegetales en superficie. Los cortes permanecieron poco tiempo en el suelo. El green panic se implantó en el sitio alto de la parcela respectiva, alcanzando una oferta de forraje de 5000-6000 kg MS.ha⁻¹ con una densidad de 5-6 plantas.m⁻². (Kunst *et al.*, 2001).

El modelo de Kostiakov ajustó muy bien a los datos de infiltración de agua obtenidos mediante el infiltrómetro de doble anillo, observándose coeficientes de correlación mayores a 0,99 ($P < 0,000$) entre los valores de campo y los predichos por la citada ecuación.

En E1, año 1997, las curvas de velocidad de infiltración media de las parcelas testigo y rolado presentaron una forma similar,

pero distinta ubicación en el plano de coordenadas, indicando diferencias en velocidad inicial y en I_b (Fig. 1a y tabla 1). Los parámetros que caracterizan la infiltración presentaron una gran variación (Tabla 1). A pesar de la diferencia entre curvas, los efectos de tratamiento y sitio sobre I_b y T no fueron estadísticamente significativos. Solo la interacción tratamiento x sitio influyó la I_b de manera significativa ($p < 0,029$) y fue marginalmente significativa en el caso de T ($p < 0,21$). El sector testigo presentó la mayor magnitud media de I_b y T en el sitio alto y la menor en el sitio bajo, y viceversa en el testigo (Fig. 1b).

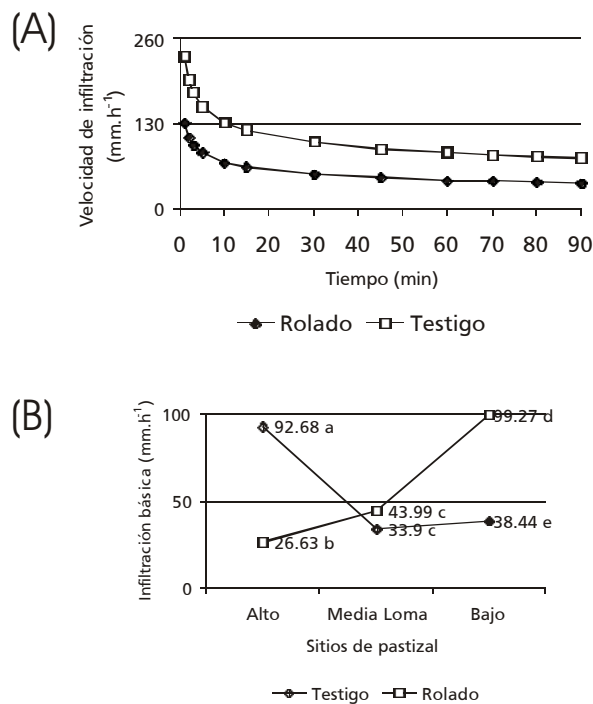
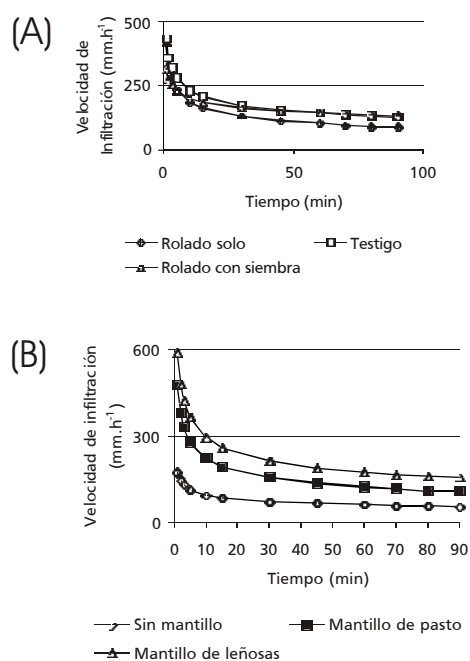


Figura 1. (a) Velocidad media de infiltración de acuerdo al modelo de Kostiakov en tratamientos rolado y testigo; y (b) Infiltración básica por sitios de pastizal. Ensayo I, 1997, Campo Experimental 'La María', Santiago del Estero. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, $p < 0,05$.

Tabla 1. Medias y desviación estándar (entre paréntesis) de las constantes k y m de la ecuación de Kostiakov e I_{10} , I_b , T_b y T observadas en tratamientos y sitios de pastizal. Ensayo 1, 1997, Campo Experimental 'La María', Santiago del Estero. I_b en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$. T_b y T en min.

Variables	Tratamientos		Sitios		
	Rolado	Testigo	Alto	Media loma	Bajo
k	2,992 (1,7)	5,12 (4.0)	4,04	3,03	4,52
m	0,732 (0,14)	0,755 (0,9)	0,708	0,73	0,83
I_b	40,08 (29)	64,42 (52)	53,05	42,36	55,68
T_b	93,29 (45,7)	144,57 (99,1)	123 (93)	96 (37)	121 (86)
T	164 (509)	4829 (13260)	123,37	114,37	73,57



Luego de una estación de crecimiento de aplicado el rolado, (E1, año 1998) las curvas de velocidad media de infiltración en los tres tratamientos comparados se superponen, sugiriendo similitud en la capacidad de infiltración (Fig. 2a). Los parámetros de infiltración presentaron nuevamente gran variación, especialmente T (Tabla 2). Esta alta variabilidad puede atribuirse a la heterogénea distribución espacial de las propiedades físicas del suelo que impactan sobre los procesos

Figura 2. Velocidad media de infiltración en función del tiempo de acuerdo al modelo de Kostiakov observada en: (a) tratamientos rolado solo, rolado con siembra y testigo; y (b) de acuerdo a presencia y tipo de mantillo. Ensayo I, 1998, Campo Experimental 'La María', Santiago del Estero.

Tabla 2. Medias y desviación standard (entre paréntesis) de las variables k y m de la ecuación de Kostiaikov e I10, Ib y Tb observadas en: (a) tratamientos y sitios de pastizal; y (b) presencia y tipo de mantillo. Ensayo 1, 1998, Campo Experimental 'La María', Santiago del Estero. Ib en mm.h⁻¹. Tb y T en min.

(a) Variables	Tratamientos			Sitios		
	Rolado con siembra	Rolado solo	Testigo	Alto	Media loma	Bajo
k	6,4 (4,3))	10,4 (12,5)	9,93 (7)	7,14	9,22	11,55
m	0,81 (0,14)	0,66 (0,07)	0,73 (0,07)	0,74	0,68	0,71
Ib	86,33 (41,3)	62,56 (51)	93,108 (53)	68,93	78,72	80,77
Tb	164,07 (82)	196,13 (140)	238,34 (110)	174,98	215,72	205,31
T	42280 (95268)	3508 (11067)	10297 (24000)	7665 (20857)	5258 (13485)	30236 (82618)

(b)	Sin mantillo	Mantillo de gramíneas	Mantillo de leñosas
k	3,9 (1,34)	11,83 (15)	13,98 (6,75)
m	0,747 (0,09)	0,67 (0,10)	0,702 (0,09)
Ib	57,72 (35)	61,84 (39)	116,165 (57)
Tb	121,408 (41)	191,75 (129)	305,91 (107)
T	26296 (78168)	969 (1857)	14649 (24171)

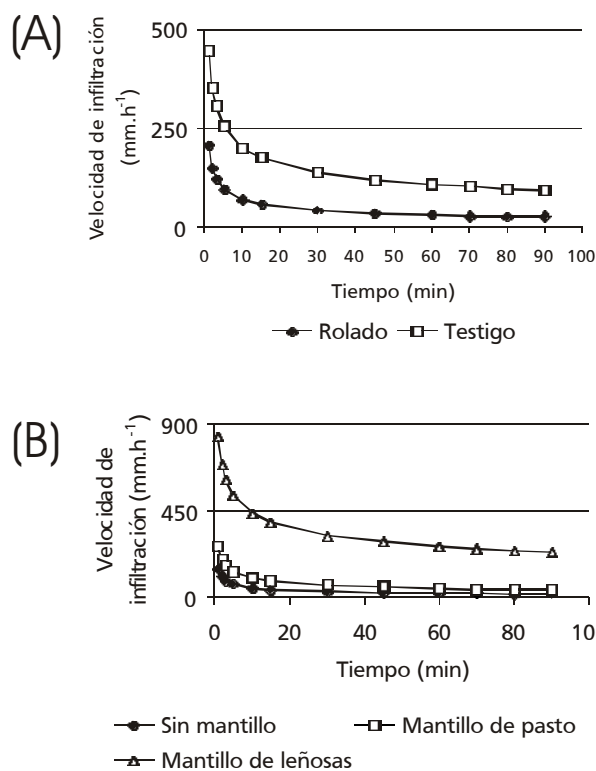
hidrológicos (Herbst y Diekkrüger, 2003). El factor tratamiento no presentó significancia estadística ni tampoco su interacción con otros factores. Sitio de pastizal solo afectó de manera significativa a T ($p < 0,09$), siendo el bajo el que presentó mayor T media. Presencia y tipo de mantillo influenciaron de manera significativa las variables Ib y T ($p < 0,05$, tabla 2 y fig. 2c), pero sus interacciones con sitio y tratamiento carecieron de significancia. Así, las curvas de velocidad de infiltración media para observaciones en suelo desnudo, con mantillo de gramíneas y mantillo de leñosas presentaron notables diferencias (Fig. 2c). Las medias de Ib bajo mantillo de leñosas superan casi en un 50 % las medias del suelo desnudo y bajo mantillo de gramíneas (Fig. 2c y tabla 2).

El análisis BACI no arrojó resultados significativos.

En la Fase II, (E2, 1999) las curvas de velocidad de infiltración media en testigo y rolado presentaron comportamiento pareci-

do al observado en 1997: forma similar, pero distinta ubicación en el plano de coordenadas (Fig. 3a). A pesar de esa diferencia, el factor tratamiento no afectó de manera significativa a lb y T. La presencia y tipo de mantillo influenciaron de manera significativa a lb ($p < 0,05$).

En este estudio se tuvieron en cuenta dos escalas de variación del paisaje: sitio de pastizal y presencia/ tipo de mantillo. Sobre estos dos factores de variación natural se superpuso el tratamiento rolado. Al considerar las parcelas como un todo, los



análisis estadísticos sugieren que el rolado no afectó de manera instantánea el proceso de infiltración de agua de los ecosistemas tratados. Este resultado se contradice con el comportamiento de las curvas de velocidad de infiltración y la lb tanto en E1 como en E2 que indican que el testigo posee mayor capacidad de infiltración que los rolados (Figs. 1a y 3a). La

Figura 3. Velocidad media de infiltración de acuerdo al modelo de Kostiakov en: (a) tratamientos rolado y testigo, y (b) según presencia y tipo de mantillo. Ensayo II, 1999, Campo Experimental 'La María', Santiago del Estero.

Tabla 3. Medias y desviación standard (entre paréntesis) de las variables k y m de la ecuación de Kostiakov e lb, Tb y T observadas en: (a) tratamientos y (b) presencia y tipo de mantillo. Ensayo II, 1999, Campo Experimental 'La María', Santiago del Estero. lb en mm.h⁻¹. Tb y T en min.

(a) Variables	Tratamientos	
	Rolado	Testigo
k	6,5 (2)	11,49 (9,1)
m	0,53 (0,13)	0,65 (0,14)
lb	27,86 (18,2)	88,93 (83)
Tb	113,20 (44)	251,48 (201)
T	511 (22)	5604 (10077)

(b)	Sin mantillo	Mantillo de gramíneas	Mantillo de leñosas
k	4,5 (1,8)	7,7 (2,2)	19,32 (0,0)
m	0,54 (0,15)	0,57 (0,17)	0,72 (0,05)
lb	20,92 (11)	35,81 (23)	155,95 (49)
Tb	83,82 (30)	134,75 (39)	426,96 (63)
T	5 (6)	30 (29)	11206 (13384)

falta de significancia estadística del factor tratamiento se atribuye a la gran variabilidad espacial observada, que las transformaciones empleadas no pudieron controlar de manera totalmente satisfactoria. La diferencia entre procesos de infiltración se atribuye a una mayor compactación de la superficie del suelo por el pasaje de la topadora y del rolo. El pasaje de maquinaria puede afectar la infiltración a través de la compactación del horizonte superficial del suelo, reducir su porosidad por expulsión parcial de aire y agua y generar así una caída de la calidad de suelo para cumplir funciones relacionadas con la producción (Návar y Synnott, 2000; Green *et al.*, 2003; Arshad y Martín, 2002). El efecto del rolado influenciaría también la capacidad del ecosistema de absorber un evento de precipitación frecuente (tiempo de retorno 1,25 años), pero la gran variabilidad espacial observada impide obtener resultados precisos.

Los resultados permiten establecer la existencia de un efecto diferencial de tratamiento por sitio de pastizal. Así, el sitio alto, con textura más liviana y generalmente con escasa cobertura de herbáceas, parece ser el más afectado por el rolado.

El efecto del rolado sobre la infiltración poseería una duración menor a un año, ya que el análisis BACI realizado en E1 no detectó diferencias luego de una estación de crecimiento de aplicado el tratamiento, y la forma y ubicación de las curvas de velocidad de infiltración de agua de los tratamientos y testigos en el plano son muy similares (Fig. 2a). Este resultado sugiere que el proceso de infiltración sería resiliente al disturbio causado por el rolado. La variación temporal de parámetros de infiltración en suelos sometidos al pasaje de maquinaria es un hecho conocido en muchos ecosistemas y sistemas de producción (Green *et al.*, 2003). Los resultados son además coherentes con el hecho que el rolado no modifica, como otras prácticas agrícolas, el cuerpo del suelo, y el efecto de los cortes fue de escasa duración.

La diferencia entre las curvas de infiltración observadas en suelo desnudo y mantillo de leñosas; y entre las medias de lb sugieren que la presencia y tipo de los residuos vegetales fue el factor que más afectó el proceso de infiltración del suelo y su influencia es independiente de sitio de pastizal. Esta fuente de variación de los parámetros de infiltración supera el efecto del ecosistema y del tratamiento o disturbio aplicado. Tiene origen localizado y se expresa a niveles de percepción menores de 10-20 m. El efecto de la presencia de leñosas y pastos sobre la velocidad de infiltración coincide con estudios llevados a cabo en ambientes áridos y semiáridos (Blackburn *et al.*, 1992).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE MANEJO

La infiltración es un indicador de calidad de suelos: una disminución de la misma puede interpretarse como un efecto negativo

de la práctica empleada sobre funciones de los suelos. El rolado afectaría solo temporalmente el proceso de infiltración, afectando la calidad del suelo del ecosistema tratado debido probablemente al peso de la topadora y del rolo. Los ecosistemas bajo estudio son resilientes al disturbio causado.

A fin de no potenciar el efecto negativo del rolado sobre la infiltración se debería evitar el pastoreo de hacienda inmediatamente luego del rolado. A nivel paisaje, la mayor influencia sobre la velocidad de infiltración la ejerce la presencia y tipo de mantillo depositado sobre el suelo. Mientras que no se puede manejar el efecto del sitio de pastizal, si es posible manejar hasta cierto punto la cantidad de residuo vegetal remanente. Generalmente, el fuego es empleado casi inmediatamente después del rolado con el fin de eliminar o reducir el volumen de los residuos leñosos aplastados, facilitando así el tránsito de hacienda, personal y el acceso al forraje. El hecho que la presencia de residuos leñosos en superficie influyere de manera significativa la infiltración sugiere que no se debe emplear el fuego de manera irrestricta ya que la eliminación de esos residuos podría afectar el proceso de infiltración de las áreas tratadas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada conjuntamente por la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Secretaría de Ciencia y Técnica, Proyecto Inter-Institucional con Transferencia '*Modificación de Ecosistemas Degradados para Uso Ganadero y Caprino Sustentable*' y por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Noroeste, a través del Proyecto Regional '*Intensificación de la Producción de Carne Bovina del Noroeste Argentino*'.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, R. y JUÁREZ, M. 2001. Interceptación de la precipitación en el Chaco semiárido (Argentina). *Rev. FCA UNCuyo* 23: 75-79.

ARSHAD, M. y MARTIN, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 153-160.

BASAN NICKISH, M. 1992. Curvas intensidad – duración – recurrencia para la ciudad de Santiago del Estero. Convenio bilateral CFI-Pcia. de Sgo. del Estero. Dactilografiado., inédito. 34 p.

BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. 1998. A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: 'Interception flow collection box'. *Hydrological Processes* 12: 471-481.

BINKLEY, D. y GIARDINA, C. 1998. Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* 42: 89-106.

BLACKBURN, W.; PIERSON, F.; HANSON, C.; THUROW, T. y HANSON, A. 1992. The spatial and temporal influence of vegetation on surface soil factors in semiarid rangelands. *Transactions of the ASAE* 35: 479-486.

BLÖSCHL, G.; GRAYSON, R. y SIVAPALAN, M. 1995. On the representative elementary area (REA) concept and its utility for distributed rainfall-runoff modelling. *Hydrological Processes* 9: 313-330.

BOLETTA, P. 1988. Clima. En: *Desmonte y habilitación de tierras en la Región Chaqueña Semiárida*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, pp7-19.

BORDÓN, A. 1983. Comentarios e ideogramas sobre la vegetación de la provincia del Chaco emergentes de una muestra de descripciones de vegetación con relación a series de suelo. *Bol. N° 86, INTA EEA Saénz Peña*.

BUCHER, E. 1982. Chaco and Caatinga. South American arid savannas, woodlands and thickets. p. 48-79. En: B. Huntley and B. Walker (eds): *Ecology of tropical savannas*. *Ecol. Studies Vol. 42*. Springer Verlag, Berlín.

CABIDO, M. y ZAK, M. 1999. Vegetación del norte de Córdoba. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba.

CERDÁ, A. 1996. Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in southeast Spain. *Geoderma* 69: 217-232.

CONOVER, W. J. 1980. Practical Nonparametric Statistics. J. Wiley & Sons. New York. 493 p.

COOK, C. W.; STUBBENDIECK, J. 1986. Range research: basic problems and techniques. Soc. for Range Management, Denver, Colorado, USA.

FRANZLUEBBERS, A. J. 2001. Water infiltration and soil structure relates to organic matter and its stratification with depth. Soil & Tillage Research 66(2002):197-205.

FUMAGALLI, A.; KUNST, C.; PÉREZ, H. 1997. Intensificación de la producción de carne en el NOA. p. 53-61. En: J. Carrozzino y D. Rearte (eds): Memoria del 1er. Congreso Nacional de Producción Intensiva de Carne. INTA - Forum Arg. de Forrajes. Buenos Aires. 261 p.

GALERA, M. 1990. Dinámica y manejo de bosques xerofíticos del Chaco árido y comunidades sustitutivas post-tala, rolado, con pastoreo en el Noroeste de la Provincia de Córdoba. Argentina. Taller interregional Africa/América Latina. MAB. Unesco. Chile.

GREEN, T.; AHUJA, L.; BENJAMÍN, J. 2003. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. Geoderma 1986: 1-25.

HAWORTH, K. y MCPHERSON, G. 1994. Effects of *Quercus emoryi* on herbaceous vegetation in a semiarid savanna. Vegetatio 112: 153-159.

HERBST, M. y DIEKKRÜGER, B. 2003. Modelling the spatial variability of soil moisture in a micro-scale catchment and comparison with field data geostatistics. Physics and chemistry of the earth (28) 2033. 239-245.

HESTER, J.; THUROW, T. y TAYLOR, C. Jr. 1996. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by prescribed burning. Journal of Range Management 50:199-204.

HILLEL, D. 1980. Fundamentals of soil physical. Academic Press Inc., New York, USA.

HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press Inc., New York, USA.

HOBBS, R.; MORTON, R. 1999. Moving from descriptive to predictive ecology. Agroforestry Systems 45: 43-55.

KUNST, C.; CORNACCHIONE, M.; GODOY, J. 2001. Prácticas de control del fachinal

I: Efectos sobre la oferta de forraje de herbáceas. Memorias 1er Congreso Nac. sobre Manejo de Pasturas Naturales. Asoc. Manejo de Pastizales Naturales, San Cristóbal, Santa Fe.

KUNST, C.; RENOLFI, R.; FUMAGALLI, A. [y otros]. 1999. Habilitación de tierras en el chaco semiárido santiagueño. Memorias 2da Jornada Ganadera del NOA. Proyecto Ganadero Macrorregional INTA. Salta. 125 p.

KUNST, C.; MONTI, E. y PÉREZ, H. 1998. Unidades, Sitios y Condición del pastizal natural del sector sudoeste de Santiago del Estero. Informe final plan de Trabajo 429108. EEA Sgo. del Estero.

LUDWIG, J.; TONGWAY D. 1995. Spatial organisation of landscapes and its function in semiarid woodlands, Australia. *Landscape Ecology* 10: 51-63.

NAETH, M.A.; CHANASYK, D.S. y BAILEY, A.W. 1991. Applicability of the Kostikov equation to mixed prairie and fescue grassland of Alberta. *Journal of Range Management* 44:18-21.

NÁVAR, J.; SYNNOTT, T. 2000. Soil infiltration and land use in Linares, N.L., México. *Terra* 18: 255-262.

SANTA OLALLA MAÑAS, F. MARTÍN DE y J. DE JUAN VALERO. 1993. *Agronomía del riego*. Ed. Mundi- prensa. ISBN: 84-7114-425-5. Pp. 732.

SOIL SURVEY STAFF. 1987. *Soil Taxonomy*. Agency for International Development. United States Department of Agriculture. Soil Management Support Services. SMSS Technical Monograph. Third Printing. Cornell University.

UNDERWOOD, A. 1994. On beyond BACI: sampling designs that might detect environmental disturbances. *Ecological Applications* 4: 3-15.

UNDERWOOD, A. 1997. *Experiments in ecology*. Cambridge University Press.

WAINWRIGHT, J.; PARSONS, A.; ABRAHAMS, A. 1999. Rainfall energy under creosotebush. *Journal of Arid Environments* 43: 111-120.

WEIXELMAN, D.; ZAMUDIO D.; ZAMUDIO K.; TAUSCH R., 1996. Classifying ecological types and evaluating site degradation. *J. Range Manage.* 50:315-321.

WILLIAMS, J.R.; OUYANG Y.; CHEN J.S.; RAVI, V. 1998. Estimation of infiltration rate in vadoze zone: application of selected mathematical models. EPA/600/R-97/128b.