



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE

“EFECTOS DEL MANEJO CON QUEMA PRESCRIPTA SOBRE ALGUNAS
PROPIEDADES DE LOS SUELOS DEL CALDENAL”.

Jorge Andrés HEIDER

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

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 esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Nacional de La Pampa y en el Laboratorio de Suelos del INTA de Anguil; fue financiada por el Inter-American Institute for Climate Change (IAI); se realizó durante el período comprendido entre el año 2003 y el 2008, bajo la dirección de **NOELLEMAYER, ELKE JOHANNA**, y bajo la codirección de **MARTÍN, MARÍA CRISTINA**.

11 de Diciembre de 2008.

Jorge Andrés Heider.

CATEDRA DE EDAFOLOGIA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA.

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA.

Resumen

La economía de la provincia de La Pampa se basa en el aprovechamiento de los recursos naturales locales. El 70% de su territorio está ocupado por pastizales naturales. La principal actividad productiva que se desarrolla en esta región es la cría extensiva de ganado vacuno, cuyo principal forraje está constituido por los pastizales mencionados anteriormente. Para aumentar la disponibilidad de forraje es común la práctica de manejo con quemas prescriptas seguido de un pastoreo intensivo de los rebrotes.

El uso de la tierra puede alterar el equilibrio dinámico formado por la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al dejar menos residuos disponibles para su incorporación. Para interpretar estos cambios se recurre a indicadores confiables y sensibles; en el presente trabajo se utilizaron textura, densidad aparente, carbono orgánico total y fraccionamiento de carbono orgánico.

En dos establecimientos ganaderos se identificaron tres sitios, donde se establecieron tres transectas y se extrajeron 36 muestras de suelo a dos profundidades: desde la superficie hasta los seis cm y de los seis a los doce cm. Los datos se analizaron a través de análisis de varianza simple, y mostraron que el manejo con quema prescripta produciría una disminución de la fracción más lábil de C en el suelo, ya que se encontró un cociente más bajo de C lábil/C estable en el sitio con historia de quema prescripta, (0.50) comparado con el sitio sin quema (0.77).

Abstract

The economy of La Pampa Province is based on the management of its natural resources, since 70% of its territory consists of natural grasslands. The principal economic activity of the region is extensive cattle ranching on these native grasslands. A common management practice is to burn these grasslands in a controlled way, and use the regrowth for more intensive grazing, thus increasing the availability of forage resources. Land use may affect the dynamic balance produced by soil physical, chemical and biological properties by diminishing the provision of plant residues. A common way to interpret these changes is to use indicators, which must be sound and reliable; in this study we used soil texture, bulk density, total organic carbon and organic carbon fractions. Three sites were identified in two rangeland farms in the region. In these farms, 36 soil samples were collected in three transects at two depths: from zero to six and from six to twelve cm. Data were analyzed through one-way analysis of variance. Results showed that prescript fire management produced a reduction of labile C, evidenced by a lower ratio of labile to stabilized C in the site with prescript fire history, (0.50) compared with the site without fire (0.77).

Indice

Prefacio	I
Resumen	II
Abstract	III
Indice..	IV
Glosario	V
Introducción	Pág. 1
Problema Científico	Pág. 4
Hipótesis y Objetivo	Pág. 4
Materiales y Métodos	Pág. 5
Resultados	Pág. 8
Discusión de los Resultados	Pág. 14
Conclusiones	Pág. 16
Bibliografía	Pág. 17

Glosario

Carbono	(C)
Carbono orgánico	(CO)
Carbono orgánico joven o particulado	(COj)
Equivalente vaca	(Ev)
Gramos por kilogramos.....	(g kg ⁻¹)
Hectáreas.....	(has)
Kilómetros cuadrados.....	(km ²)
Materia orgánica del suelo.....	(MO)
Metros sobre el nivel del mar.....	m s n m
Micrómetros	(μm)
Tonelada (Megagramos) por metro cúbico.....	(Mg m ⁻³)

Introducción

La economía de la provincia de La Pampa gira principalmente en torno al aprovechamiento de los recursos naturales locales. De su territorio, el 70% está ocupado por pastizales naturales (Frank *et al.*, 1998). La principal actividad productiva que se desarrolla en esta región es la cría extensiva de ganado vacuno, cuyo principal forraje está constituido por los pastizales mencionados anteriormente. En la provincia, el Caldenal se extiende dentro del área del espinal desde el sur de San Luis hasta el sudeste de La Pampa, entre las isohietas de 400 y 600 mm, ocupando unas 5,5 millones de has aproximadamente (Roberto *et al.*, 2005). El Caldén (*Prosopis caldenia* Burk) domina el estrato arbóreo, formando bosques abiertos o densos, la formación se completa con un estrato arbustivo y uno gramíneo herbáceo. Los suelos predominantes son Molisoles y subordinados a estos, Entisoles en áreas de sedimentos más arenosos y Aridisoles hacia el oeste donde las precipitaciones disminuyen (Cano, 1988).

El sobrepastoreo provocado por la ganadería introducida en las primeras décadas del siglo XX, la exclusión del fuego y la explotación forestal, han promovido sobre grandes áreas un desmesurado aumento de la densidad del caldén (*Prosopis caldenia* Burk), así como la invasión de otras leñosas (Llorens y Frank, 1999). Este manejo también ha llevado con el tiempo a una degradación del pastizal. Esto se tradujo en cambios sustanciales en la composición de las comunidades vegetales de la región (Villamil *et al.*, 1997); de manera que las especies palatables con alto valor forrajero (*Poa ligularis*, *Stipa clarazzi*, *Piptochaetium napostaense*, etc.) son reemplazadas por especies de mala calidad (*Stipa eriostachya*, *S. brachychaeta*, *S. tenuissima*, *Elyonurus muticus*, etc.), denominadas comúnmente como “pajas”. Por su alto contenido de fibra, estas especies no son pastoreadas por el ganado, por lo que su cobertura aérea aumenta en este tipo de ambientes. La sustitución de forrajeras bajas por las pajas, el consecuente aumento de material combustible fino y senescente, más la continuidad vertical del mismo producida por la arbustización, se tradujo en incendios recurrentes en cualquier época del año, de elevada intensidad calórica y mayor altura de llama (Llorens et al., 2003). Según Llorens y Frank. (1999) la combinación de fuego controlado seguido del pastoreo intenso del rebrote sería una alternativa válida para mantener una baja cobertura aérea de estas especies, pudiéndose así aumentar el espacio para otras de mayor calidad. De esta manera, disminuye el combustible para evitar incendios no deseados, además de incrementar la disponibilidad forrajera para la ganadería.

La quema prescrita es un método de bajo costo, comúnmente recomendado para incrementar la productividad ganadera de los pastizales naturales degradados; se puede considerar como un sistema de manejo que se caracteriza por el uso de fuego y posteriormente un pastoreo intensivo del rebrote del forraje. Consiste en la diestra aplicación del fuego sobre la vegetación en condiciones adecuadas de humedad del suelo, de los combustibles, de temperatura ambiente y vientos óptimos, de modo que permitan su confinamiento a un área predeterminada, y que produzca al mismo tiempo una intensidad de calor y velocidad de desplazamiento tal que logre cumplir los objetivos planteados (Biswell, 1997). No sólo se usa para remover el material muerto que impide el crecimiento de las especies deseables, sino también para controlar especies indeseables, sobre todo las leñosas (Schacht *et al.*, 1996).

Si bien son muchos los trabajos que analizan los cambios que provoca el fuego sobre el suelo, principalmente sobre algunos de sus nutrientes, la mayoría son estudios de corto plazo (Romanyà *et al.*, 2001; Marcos *et al.*, 1999, Van de Viejver *et al.*, 1999) y en general se limitan a relatar los diferentes valores obtenidos antes y después de un evento de fuego, ya sea controlado o natural. Por el contrario, es muy escasa la información relacionada al uso del fuego y sus efectos a largo término y el impacto que tiene el sistema de manejo del pastizal con quema prescrita y pastoreo intensivo sobre la calidad del suelo y los ciclos biogeoquímicos.

Es sabido que el uso de la tierra, los sistemas de labranza y el manejo de los cultivos pueden alterar el equilibrio dinámico generado por la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Una de las maneras de interpretar estos cambios que se producen en el suelo, es a través de indicadores confiables y sensibles. Muchos estudios coinciden en que la materia orgánica MO del suelo es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga *et al.*, 2001). Ésta actúa como un sumidero de nutrientes que son utilizados por las plantas e importantes en el mantenimiento de los rendimientos de los cultivos, ayuda a la aireación y la infiltración del agua. Por otra parte, la MO promueve la retención del agua y reduce la erosión (Buschiazzo *et al.*, 1991). Burke *et al.*, (1989) postularon que la MO es uno de los componentes más importantes del ciclo biogeoquímico y que su cantidad y calidad refleja y controla la productividad primaria. La cantidad de MO representa el balance entre la productividad primaria y la extracción de biomasa y su descomposición, constituyendo una medida sensible e integrada de cambio en el ecosistema.

La cantidad de MO presente en el suelo y su dinámica son influenciadas por las distintas prácticas de manejo de cultivos y del pastoreo, que se diferencian básicamente por la cantidad y calidad de residuos y por las relativas tasas de mineralización (Quiroga *et al.*, 1996). Existen técnicas de fraccionamiento del carbono orgánico (CO) con el fin de identificar las fracciones más lábiles y dinámicas, las que controlan en mayor medida el crecimiento vegetal y la calidad del suelo. La MO humificada o asociada con la fracción mineral es estable en el tiempo, difícil de degradar por su estructura muy compleja y diferente al material que le da origen. Por el contrario el CO joven (CO_j) o particulado es una fracción menos transformada, y resulta más susceptible a la oxidación. Constituye la parte más dinámica de la MO y está más asociada a la disponibilidad de nutrientes (N, P y S) en el corto plazo que la fracción humificada. El CO_j ha sido propuesto por numerosos investigadores como un parámetro indicador del estado o calidad del suelo y de su capacidad para proveer nutrientes (Ferraris *et al.*, 2002). Cambardella y Elliott (1994) definieron a través de la separación granulométrica tres fracciones de CO: C en macroagregados (> 250 μm), en agregados intermedios (50 a 250 μm) y en microagregados (<50). Hallaron que la fracción > 250 μm demuestra variaciones de acuerdo al manejo y uso del suelo en comparaciones de cobertura nativa y bajo cultivo.

La textura de los suelos y los sistemas de producción son importantes factores que afectan la variación de los niveles de materia orgánica y de nutrientes (Galantini *et al.*, 2003). En tal sentido Buschiazzo *et al.* (1991) hallaron una relación estrecha entre la textura (arcilla + limo) y el contenido de CO en suelos vírgenes de la región semiárida central de la Argentina. A mayores contenidos de arcilla + limo mayor es el nivel de CO. Los autores consideran que el efecto de las partículas finas sobre el contenido de CO se produce a través de dos procesos: la mayor capacidad de absorción hídrica favorecería la productividad primaria, y por otra parte la formación de complejos organominerales estabilizaría el CO en suelos de textura más fina. Neufeld *et al.* (2002) encontraron relaciones entre textura y CO muy similares en Oxisoles del Cerrado Brasileño, las cuales también se explican sobre todo por la retención de las sustancias orgánicas a través de la formación de complejos organominerales.

Por su parte, Quiroga *et al.*, (1996) mostraron que la cantidad de CO estable asociado a partículas de tamaño inferior a 50 μm está significativamente relacionado al contenido de arcilla en el suelo, y la materia orgánica liviana (de más de 100 μm) es fuertemente influenciada por el manejo del suelo. Además, la resistencia a la penetración y

la susceptibilidad a la compactación en suelos cultivados están relacionados con el contenido de COj (asociado a la fracción < 100 μm) (Quiroga *et al.*, 1998).

Los estudios comparativos entre manejos en suelos cultivados han demostrado que la fracción de COj o particulado es un indicador sensible de las condiciones de fertilidad física. El presente trabajo propone estudiar dos manejos ganaderos contrastantes en el Caldenal, utilizando COj como indicador del efecto que éstos tienen sobre la fertilidad física y química, y sobre los ciclos biogeoquímicos en los suelos.

Problema Científico

Es escasa la información referente a los efectos de diferentes sistemas de manejo sobre el carbono orgánico del suelo a largo plazo en el Caldenal, y en especial al efecto de la quema prescrita y posterior uso intensivo del rebrote.

Hipótesis

El sistema de manejo ganadero que incluye quema prescrita y pastoreo intensivo afecta los ciclos biogeoquímicos y produce una disminución de la fertilidad física y química a través de la pérdida de COj del suelo.

Objetivo

Evaluar el impacto de la quema prescrita en el Caldenal sobre la fertilidad física y química utilizando COj como indicador de calidad de suelo.

Materiales y Métodos:

1.- Descripción de los sitios

Se eligieron dos establecimientos ganaderos dentro de de la Provincia de La Pampa, Argentina (Figura 1), que corresponden a la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia del Espinal, Distrito del Caldén (Cabrera 1976).

Los establecimientos se ubican en el departamento de Loventué, uno cercano a la localidad de Luan Toro y el otro próximo a la localidad de Telén. En ambos, la explotación es ganadera y se realiza en potreros de pastizal natural y potreros desmontados con pasturas y verdeos.

En el establecimiento cercano a Telén se seleccionaron dos potreros, sobre los que se determinaron dos sitios. El Sitio 1 se estableció en un potrero que tiene historia de manejo con fuego y el Sitio 2 se ubicó en un potrero lindante que no tuvo el tratamiento mencionado. Hay que destacar que el primer potrero tenía menor proporción de arbustos y renoval con respecto al cuadro contiguo, que no sufrió quemas.

En el establecimiento restante se seleccionó un potrero sobre el que se estableció el Sitio 3, que fisonómicamente se puede caracterizar como Bosque con fachinal y pajonal abierto, el fachinal que predomina es de Chañar, algunas de las plantas pequeñas se encontraban ramoneadas.

Sitio 1:

Ubicado en las coordenadas 36° 09' 52,7" S y 65° 35' 54,3" W. a 323 msnm. Corresponde a un Bosque abierto con arbustos aislados, mientras que el estrato graminoso-herbáceo puede identificarse como un Pastizal mixto con pajas.

Manejo: Carga media anual de 1 Ev cada 5 ha, con un promedio de ocupación de pastoreo es del 50 %. Se establecen períodos de pastoreo de dos o tres meses, seguidos de descansos similares. Históricamente, se realizaron quemas en varias oportunidades (en promedio, cada 5 ó 6 años). En los seis meses posteriores a las quemas la carga se eleva diez veces, esto es 1 Ev cada 0,5 ha durante algunos meses. Las últimas quemas prescriptas en este sitio se realizaron en Julio de 2002, Enero de 1999, Enero de 1992 y Marzo de 1986.

Sitio 2:

Las coordenadas para este sitio son 36° 09' 47,2" S y 65° 36' 32,5" W, a 323 msnm. Es un Bosque abierto con arbustos, mientras que la vegetación subyacente corresponde a un Pajonal.

Manejo: Con una carga media anual de 1 Ev cada 5 ha y un promedio de ocupación de pastoreo del 50 % al igual que en el sitio anterior. Si bien el potrero se encuentra en el mismo establecimiento, nunca se manejó con quemas, por lo menos en los últimos cincuenta años.

Sitio 3:

Se encuentra situado a los 36° 15' 47,4" S y 65° 4' 5,0" W, con una elevación de 298 msnm. Corresponde a un Bosque con fachinal de Chañar, sobre un pajonal abierto.

Manejo: El manejo pastoril y las cargas ganaderas en este potrero fueron iguales a los que se han descrito para los sitios 1 y 2. No se han efectuado quemas prescriptas, ni se han registrado incendios, al menos en los últimos 25 años.

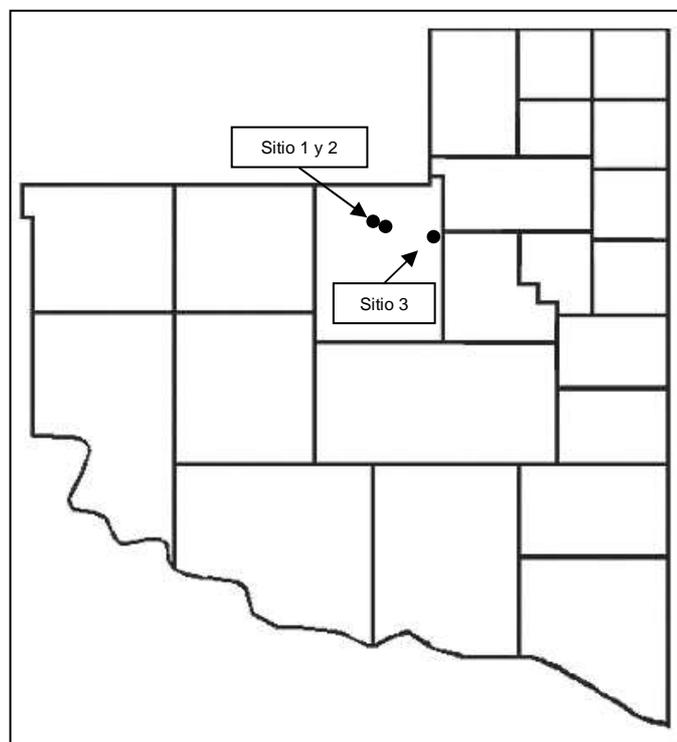


Figura 1: Ubicación de los tres sitios de muestreo en la provincia de La Pampa.

2.- Metodología

Para determinar las características del suelo se colectaron en cada uno de los tres sitios 12 muestras del horizonte A. En cada potrero, alejado de los bordes y de la aguada, se estableció una transecta de 250 m de largo y sobre la misma se tomaron muestras de seis puntos distanciados a 50 m cada uno. En cada punto se tomaron dos muestras, una que comprendió desde la superficie del suelo hasta los seis cm de profundidad, y otra desde los seis a los doce cm. Se ha encontrado que, en relación al CO del suelo las muestras superficiales son las que mayor cantidad de información revelan (Noellemeyer *et al.*, 2006; Frank *et al.*, 2003). El muestreo se realizó en cilindros de densidad aparente de acero inoxidable de seis cm de altura y diez de diámetro (471,23 cm³). Sobre las muestras de suelo, secadas al aire y tamizadas a < 2 mm, se realizaron las siguientes determinaciones:

1. Densidad aparente: peso seco al aire del suelo contenido en el volumen (471,23 cm³) de los cilindros utilizados para obtener las muestras.

2. Textura: a través del método del hidrómetro de Bouyoucus, 1962.

3. Carbono orgánico total: por oxidación húmeda con dicromato de K⁺ y ácido sulfúrico (Soon y Abboud, 1991).

4. Fraccionamiento de C orgánico: a través de tamizado en húmedo se obtuvieron las fracciones >100 µm, 100-50 µm y <50 µm, sobre las cuales se determinó C utilizando la misma técnica que para C total. Los datos obtenidos se expresaron como concentración de C en cada fracción, y a su vez como contenidos de C de cada fracción en el suelo. Para esto se ponderó la concentración en cada fracción por el porcentaje de peso de cada una en el total del suelo.

Los datos fueron procesados utilizando el *software* Statgraphics. Se utilizó ANOVA, análisis de regresión, y el Test LSD (Least Significant Difference) de Fisher para evaluar diferencias entre medias (p< 0,05).

Resultados:

La textura de los suelos muestreados en los tres sitios pertenece a la clase textural Arenoso franco (AF). Solamente cuatro muestras del total de 36 muestras mostraron pequeñas diferencias en su contenido de limo + arcilla. Por lo tanto se pudo constatar que los sitios no presentaron variaciones importantes de textura.

En el sitio 1 se encontraron once muestras pertenecientes a la clase textural AF y solamente una Franco arenoso (FA). Por su parte, en el Sitio 2 se encontraron once AF y una Arenosa (A). Finalmente, en el Sitio 3 se clasificaron diez muestras como AF y dos como FA. Los valores promedios de clases texturales para cada sitio y profundidad están expresados en la Figura 2. Aún no habiendo diferencias importantes en las clases texturales entre sitios y profundidades de muestreo, se observaron algunas diferencias estadísticamente significativas con respecto al contenido de las fracciones texturales (Tabla 1).

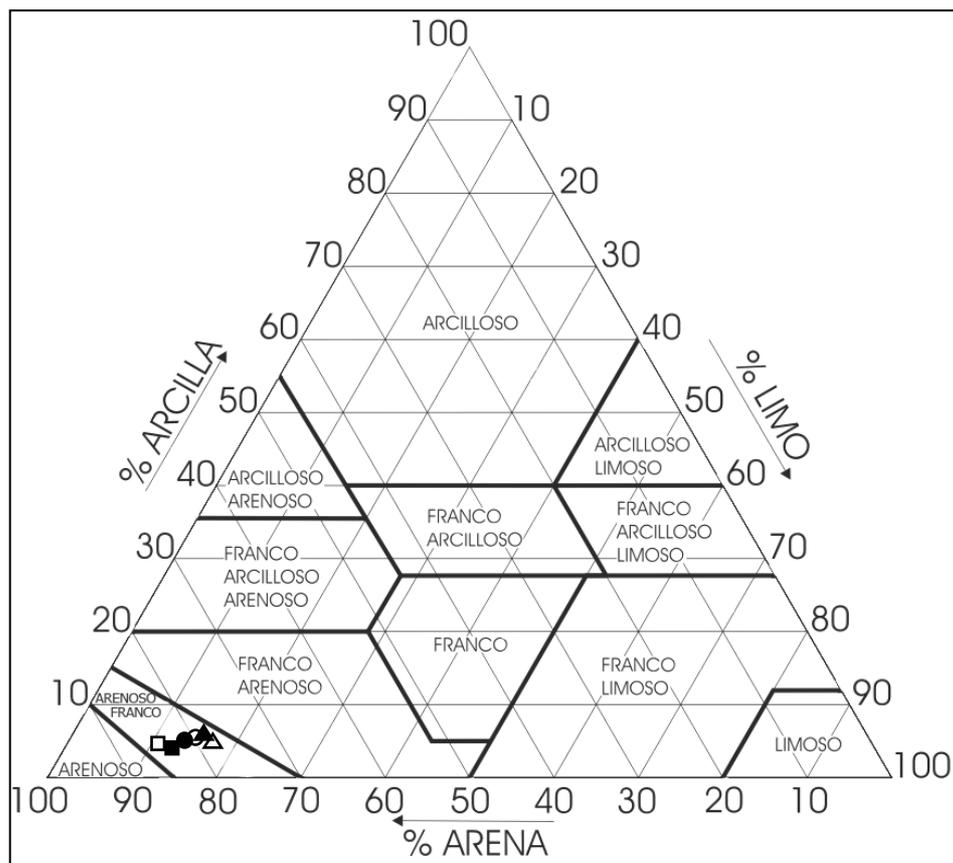


Figura 2: Ubicación de los sitios en el triángulo textural. Cada punto corresponde al promedio de los Sitios 1 (círculo), 2 (cuadrado) y 3 (triángulo), y a las profundidades de cero a seis (puntos blancos) y seis a doce cm (puntos negros).

Tabla 1: Contenido de arcilla, limo, limo + arcilla y arena de los suelos de los diferentes sitios y profundidades. Diferentes letras en una misma columna indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Profundidad (cm)	Arcilla (%)		Limo (%)		Limo+arcilla (%)		Arena (%)	
	0-6	6-12	0-6	6-12	0-6	6-12	0-6	6-12
Sitio								
1	5,73 a	5,23 b	14,55 a	13,65 a	20,27 a	18,88 ab	79,73 b	81,12 ab
2	4,68 a	4,86 b	10,53 b	11,63 a	15,21 b	16,49 b	84,79 a	83,51 a
3	5,06 a	6,17 a	16,40 a	14,40 a	21,46 a	20,57 a	78,54 b	79,43 b

Si bien se encontraron diferencias significativas en los contenidos de las distintas fracciones, los relativamente altos valores de arena en todos los sitios indican una marcada similitud en el tipo textural. Por ejemplo, en el Sitio 3 se encontró el mayor porcentaje de arcilla a 6-12 cm de profundidad. Respecto al contenido de limo, los sitios 1 y 3 mostraron los valores más elevados, y se diferenciaron del Sitio 2 en la profundidad de 0 a 6 cm, mientras que no se apreciaron diferencias de 6 a 12 cm. En los contenidos de limo+arcilla se pudo observar que el Sitio 2 difiere de los restantes en la profundidad de 0 a 6 cm, y a su vez posee el valor más bajo. Dentro de la profundidad de 6 a 12 cm se encontraron diferencias significativas entre los sitios 2 y 3, siendo este último el que mayor porcentaje de material fino posee a esta profundidad. Finalmente, en porcentaje de arena el sitio 2 se diferenció del 1 y 3 con el mayor valor en la profundidad de 0 a 6 cm. También hubo diferencias significativas entre los sitios 2 y 3 en la profundidad de 6 a 12 cm; mientras que el sitio 3 arrojó menores cantidades en ambas profundidades.

Con respecto a los contenidos de las fracciones minerales del suelo (Tabla 2), se encontró que la fracción $>100 \mu\text{m}$ fue mayor a las demás en ambas profundidades. Los porcentajes más altos de la misma correspondieron al Sitio 2, aunque solamente en la profundidad de cero a seis. En referencia a la fracción comprendida entre los 100 y $50 \mu\text{m}$ se apreciaron diferencias entre los sitios 2 y 3 en la profundidad de 0 a 6 cm; el valor más bajo se encontró en el Sitio 2 (9,17 %) y el más alto en el 3 (12,97 %). Finalmente, en la fracción $<50 \mu\text{m}$ hubo diferencias entre todos los sitios en las muestras superficiales, el mayor contenido de esta fracción correspondió al Sitio 3. Más allá de algunas diferencias que resultaron ser estadísticamente significativas, no se encontró en general una variabilidad muy importante con respecto a las fracciones del suelo. Además, tampoco se encontraron diferencias significativas en la densidad aparente de los distintos sitios y profundidades (Tabla 3).

Tabla 2: Porcentaje de las distintas fracciones de suelo para todos los sitios y profundidades. Datos compuestos de todas las transectas. Diferentes letras en una misma columna indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Profundidad (cm)	% Frac. >100 μm		% Frac. 100-50 μm		% Frac. <50 μm	
	0-6	6-12	0-6	6-12	0-6	6-12
Sitio						
1	71,80 b	71,33 a	11,47 ab	12,00 a	16,73 b	16,67 ab
2	78,10 a	75,83 a	9,17 b	9,36 a	12,73 c	14,80 b
3	66,76 b	70,96 a	12,97 a	9,26 a	20,26 a	19,77 a

Tabla 3: Densidad Aparente para los diferentes sitios a profundidades de 0 a 6 cm y de 6 a 12 cm. Diferentes letras en una misma columna indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Profundidad (cm)	D. aparente (Mg.m^{-3})	
	0-6	6-12
Sitio		
1	1,27 a	1,33 a
2	1,19 a	1,33 a
3	1,25 a	1,31 a

Con respecto al CO total, se pudo observar que las cantidades correspondientes a la profundidad de 6 a 12 cm fueron prácticamente la mitad en relación a las obtenidas en superficie (Figura 3). Comparando los valores entre sitios, se encontró que en el Sitio 3 se apreciaron las magnitudes más elevadas para ambas profundidades de muestreo (13,18 g kg^{-1} y 7,40 g kg^{-1} respectivamente), mientras que en el Sitio 1 se hallaron los valores más bajos. Sin embargo, salvo por la diferencia encontrada entre los sitios 1 y 3 a la profundidad de 6 a 12 cm, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de C total entre sitios.

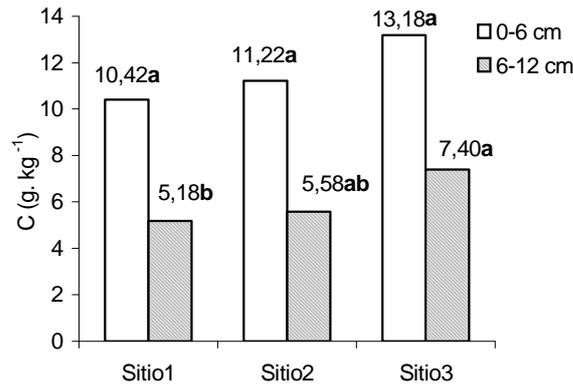


Figura 3: Carbono total de los sitios para las profundidades de 0 a 6 cm y de 6 a 12 cm. Diferentes letras para una misma profundidad indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Con respecto al C asociado a las distintas fracciones del suelo (Figura 4), se encontró que los tres sitios manifestaron un comportamiento análogo en cuanto a su distribución. En superficie, la mayor cantidad de C fue encontrada en la fracción $< 50 \mu\text{m}$, seguida estrechamente por la fracción $> 100 \mu\text{m}$, mientras que la fracción intermedia mostró valores sensiblemente menores. En tal sentido, la relación entre las fracciones fue de 1.9 y 2.0 en los sitios 1 y 3. En cambio el sitio 2 mostró una relación más estrecha (1.3). En la profundidad de seis a doce centímetros, se encontraron distribuciones similares a las de las muestras superficiales, a diferencia del contenido de C en la fracción $> 100 \mu\text{m}$, que fue relativamente mucho menor, similar a la correspondiente a $100-50 \mu\text{m}$.

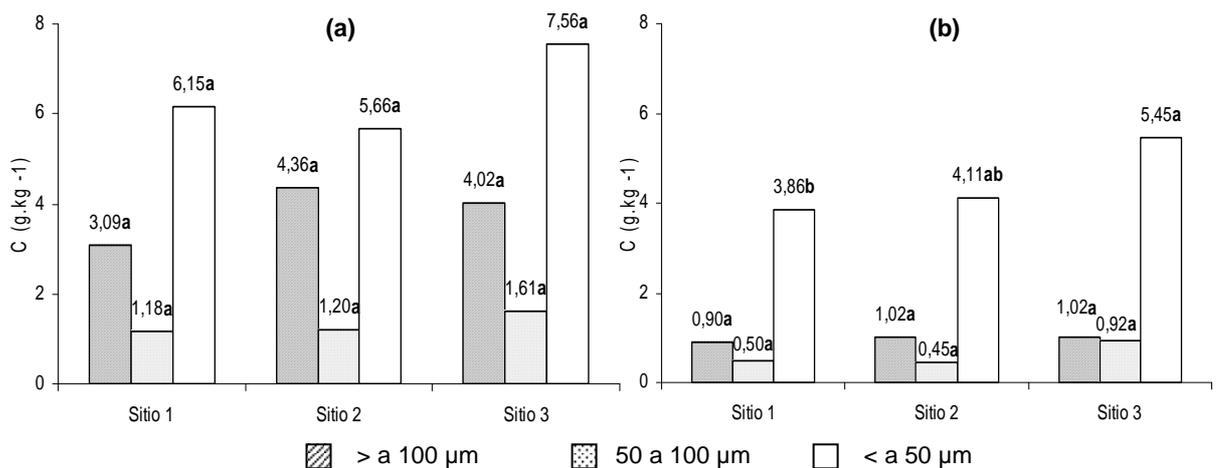


Figura 4: Concentración de Carbono (g.kg^{-1}) en las tres fracciones para 0 a 6 cm (a) y 6 a 12 cm (b) de profundidad de muestreo. Diferentes letras para una misma fracción y profundidad indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

En referencia a la comparación entre sitios, no se encontraron diferencias significativas, a excepción de la fracción < 50 μm en profundidad, en la que el valor correspondiente al Sitio 3 fue mayor al del Sitio 1. Sin embargo, el Sitio 1 (con quemas) mostró menores contenidos de C en prácticamente todas las fracciones y profundidades que el resto de los sitios (ambos sin quemas).

Con el fin de evaluar el balance de C resultante del manejo del pastizal con y sin quema en los tres sitios se calculó el cociente entre las fracciones >100 y < a 50 μm , considerando que la primera refleja el aporte de C y la segunda el contenido de C estabilizado en el suelo (Tabla 4). En las muestras superficiales se encontraron valores estadísticamente diferentes entre el sitio 1 y 2 de 0.50 y 0.77 respectivamente. A la profundidad de 6 a 12 centímetros no se hallaron diferencias significativas para este indicador.

Tabla 4: Relación entre las fracciones >100 y < a 50 μm para las profundidades de 0-6 cm y 6-12 cm. Diferentes letras en una misma columna indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Profundidad (cm)	Relación entre Fracc. >100/<50 μm	
	0-6	6-12
Sitio		
1	0,50 b	0,23 a
2	0,77 a	0,25 a
3	0,53 ab	0,19 a

Entre sitios no se encontraron diferencias significativas en los contenidos de las fracciones de C más fina y la de 100-50 μm en ambas profundidades de muestreo (Tabla 5). En la fracción mayor a 100 μm se hallaron valores diferentes entre los sitios 2 y 3 a profundidad de 0-6 cm con el mayor valor en 2. En las muestras de profundidad el sitio 2 también tuvo mayor valor y se diferenció del sitio 1.

Tabla 5: Contenidos de C (g.kg^{-1}) del suelo considerando las tres fracciones, para los sitios muestreados en profundidades de 0-6 cm y 6-12 cm. Diferentes letras en una misma columna indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Profundidad (cm)	Fracc. >100 μm C (g.Kg^{-1})		Fracc. 100-50 μm C (g.Kg^{-1})		Fracc. <50 μm C (g.Kg^{-1})	
	0-6	6-12	0-6	6-12	0-6	6-12
Sitio						
1	27,30 ab	16,42 b	1,17 a	0,50 a	0,74 a	0,21 a
2	32,85 a	21,30 a	1,20 a	0,45 a	0,74 a	0,20 a
3	24,83 b	19,63 ab	1,60 a	0,90 a	1,20 a	0,29 a

Discusión:

Los resultados demostraron que la textura de los diferentes sitios no difiere significativamente. Lo mencionado es una premisa fundamental, ya que se ha encontrado que existe una relación positiva estrecha entre el contenido de arcilla y limo y los contenidos de materia orgánica para los suelos de la zona semiárida central de Argentina (Quiroga *et al.*, 1996). La similitud en cuanto a la textura permite, por lo tanto, efectuar comparaciones entre los contenidos de C de los tratamientos ensayados.

Por otro lado, los valores de densidad aparente no mostraron diferencias estadísticas entre sitios. Esto era de esperarse ya que esta característica está asociada a la textura y a la materia orgánica, variables que no mostraron diferencias apreciables, sobre todo en las muestras superficiales. En relación a esto, se ha demostrado que las porciones superficiales son las que reflejan en mayor medida los cambios ocurridos a causa del manejo de los suelos (Noellemeyer *et al.*, 2006).

En relación al C total, el sitio manejado con quemas controladas (Sitio 1) fue el que tuvo menor valor en ambas profundidades. En el potrero contiguo, donde se estableció el Sitio 2, se observaron valores superiores, aunque no estadísticamente significativos, de C total, a pesar de tener comparativamente menor contenido de arcilla. Las mayores cantidades de C total se encontraron en el Sitio 3, que no sufrió quemas por lo menos en los últimos 25 años, y donde se encontraron mayores contenidos de limo, aunque sin diferencias significativas con el Sitio 1. Además, se encontró en éste, un mayor contenido de arcilla en las muestras de 6 a 12 cm. Estos datos son importantes por la estrecha relación que existe entre C total y limo y arcilla y el efecto del manejo sobre los contenidos de C.

Con respecto a las concentraciones de C que se observaron en las distintas fracciones no se encontraron diferencias significativas. Solamente en la profundidad de 6 a 12 cm de la fracción $<50 \mu\text{m}$, se pudo ver una diferencia entre el Sitio 1 y el 3. El valor más bajo se encontró en el Sitio 1 en las dos profundidades, lo que podría indicar un alteración por manejo en el largo plazo.

La relación entre las fracciones podría entenderse como el resultado del balance de CO, ya que los contenidos de la fracción $>100 \mu\text{m}$ posteriormente son aportados a la fracción $<50 \mu\text{m}$. Por este motivo diferencias en cuanto al aporte de residuos vegetales debido a distintos manejos, en este caso el uso de quemas prescritas y pastoreo intensivo del rebrote, afectan en primera instancia a los contenidos de C $> 100 \mu\text{m}$. El contenido de la fracción $<50 \mu\text{m}$ se verá afectado recién en el mediano y largo plazo. Por esta razón se

calculó el cociente entre ambas fracciones, a modo de indicador del balance de C, la relación entre las fracciones >100 y $<50 \mu\text{m}$ mostró diferencias entre el sitio 1 y 2 con un detrimento muy marcado en el primer sitio.

Conclusiones:

En el presente trabajo se obtuvieron datos que muestran que el manejo con quema prescrita y pastoreo intensivo produciría una disminución de la fracción más lábil de C en el suelo, ya que se encontró un cociente más bajo de C lábil/C estable en el sitio con historia de quema prescrita.

Sería necesario analizar distintos manejos de quemas y mayores estudios sobre fertilidad química y diferentes texturas para afirmar lo concluido en este trabajo.

Bibliografía

- Biswell H., 1997.** Giant Sequoia Fire Ecology. University Extension Course. University of California, Davis. California, EEUU.
- Bouyoucus, G. 1962.** Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agron. J. 54:464-465.
- Burke I., M. Yonker, W. Parton, C. Cole, K. Flach, D. Schimel, 1989.** Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. Soil Science 53 (800-805).
- Buschiazzo D., A. Quiroga, K. Stahr, 1991.** Patterns of organic matter accumulation in soils of the semi arid argentinian pampas. Z. Pflanzener. Bodenk 154 (437-441).
- Cabrera A., 1976.** Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Segunda Edición, Tomo II, Fascículo I.
- Cambardella C., E. Elliot, 1994.** Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. Soil Science 58: 123-130.
- Cano E., 1988.** Pastizales naturales de La Pampa, Tomo I. Convenio AACREA - Provincia de La Pampa.
- Ferraris G., F. Gutierrez Boem, H. Echeverría, 2002.** Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. IDIA II Vol. 3: 52-58.
- Frank E., E. Llorens, D. Cabral, 1998.** Productividad de los pastizales naturales de la Provincia de La Pampa. Subsec. de A. Agrarios, Cambio Rural, INTA, SAGPyA.
- Frank, F., E. Frank and E. Noellemeyer. 2003.** Soil texture and carbon relationships under different managements in the caldenal area of La Pampa, Argentina. XXIX Congreso Brasileiro da Ciencia do Solo. Riberao Preto. S.P.
- Galantini J., M. Landriscini, R. Fernández, 2003.** Azufre en Suelos. Revista Fertilizar. Año 8. N° 31 Junio. INTA.
- Llorens E., E. Frank en Kunst C., S. Bravo, J. Panigatti, 2003.** Fuego en los Ecosistemas Argentinos. INTA. Santiago del Estero. 332.
- Llorens E., E. Frank, 1999.** Aspectos ecológicos del estrato herbáceo del caldenal y estrategias para su manejo. AACREA, Subsec. de A. Agrarios, INTA.
- Marcos E., R. Tárrega, E. Luis-Calabuig, 1999.** Alteraciones producidas por un incendio forestal en el suelo de una repoblación de *Pinus radiata*. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Volumen 6. Diciembre. 27-35.

- Neufeld H., V. Reck, M. Ayarza, 2002.** Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma* 107: 151-164.
- Noellemeyer E., A. R. Quiroga, D. Estelrich, 2006.** Soil quality in three range soils of semi-arid Pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments*. 65: 142-155.
- Quiroga A., D. Buschiazzo, N. Peinemann, 1996.** Soil organic matter particle size fractions in soils of semiarid Argentinean Pampas. *Soil Science* 161: 104-108.
- Quiroga A., D. Buschiazzo, N. Peinemann, 1998.** Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Science* 163: 591-597.
- Quiroga A., O. Ormeño, N. Peinemann, 2001.** Materia orgánica. Un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. Boletín de divulgación técnica N° 70, julio. INTA.
- Roberto Z., E. Adema, T. Rucci, 2005.** Relevamiento fisonómico de la región del Caldenal. Publicación Técnica N° 60. Ed. INTA Anguil. 24 pp.
- Romanyà J., P. Casals, V. Vallejo, 2001.** Short-term effects of fire on soil nitrogen availability in Mediterranean grasslands and shrublands growing in old fields. *Forest Ecology and Management*. 147: 39-53.
- Schacht W., J. Stubbendieck, T. Bragg, A. Smart, J. Doran, 1996.** Soil quality response of reestablished grasslands to mowing and burning. *Journal Range Manage* 49 (5): 458-463.
- Soon, Y. and S. Abboud. 1991.** Comparison of some methods for soil organic carbon determinations. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 22: 943-954.
- Van de Viejver C., P. Poot, H. Prins, 1999.** Causes of increased nutrient concentrations in post-fire regrowth in an East African savanna. *Plant and Soil* 214: 173-185.
- Villamil M., N. Amiotti, N. Peinemann, 1997.** Pérdida de fertilidad física en suelos del sur del caldenal (Argentina) por pastoreo. *Ciencia del Suelo* 15: 102-104.