



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 FUEGO SOBRE LA FERTILIDAD QUÍMICA DE UN SUELO DEL  
CALDENAL PAMPEANO”

Mónica P. ALVAREZ REDONDO

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2008

## **PREFACIO**

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar el grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 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 el Laboratorio de Química, dependiente de Facultad de Agronomía, UNLPam, durante el período comprendido entre Diciembre de 2007 y Octubre de 2008, bajo la dirección de URIOSTE, Ana María y bajo la co-dirección de MORICI, Ernesto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la Facultad de Agronomía, UNLPam, por el apoyo brindado permitiendo que el desarrollo experimental de esta Tesina fuera realizado en los laboratorios de química de dicha Facultad.

A la Lic. Valeria Belmonte, docente de la cátedra de Estadística de la Facultad de Agronomía, por el asesoramiento otorgado en el tratamiento estadístico de los datos y su interpretación.

A la Lic. Estela Hepper y Lic. Ricardo Ernst por los valiosos aportes realizados en la evaluación de la presente tesina.

A Silvana de Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

*Dedicada a mi familia*

4 de Diciembre de 2008

.....

## RESUMEN

El fuego, desde un enfoque ecológico, es un factor ambiental capaz de modelar la estructura de numerosos ecosistemas terrestres permitiendo mantener o modificar su diversidad y estabilidad. A pesar del uso frecuente del fuego como herramienta de manejo de pastizales naturales, se dispone de escasa información regional del efecto que causa sobre el suelo y su fertilidad. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de una quema controlada sobre el pH y los contenidos de carbono orgánico (CO), fósforo disponible (Pdisp) y nitrógeno total (NT) de un suelo de la región del caldenal pampeano. El ensayo fue realizado en un potrero de 20 ha de bosque de caldén, muestreando los primeros 2,5 cm de suelo antes de la quema (AQ), inmediatamente después de la quema, con ceniza (PQc/c) y sin cenizas (PQs/c), y luego de la primer lluvia posterior a la quema (PQlluvia). Para disminuir la variabilidad espacial, el muestreo se realizó en tres áreas con diferente composición vegetal: estrato herbáceo dominado por especies forrajeras (F), dominado por especies no forrajeras (NF) y áreas con predominancia de arbustos (A). En la superficie del suelo en A se registraron las mayores temperaturas (427°C) debido al tipo y cantidad de vegetación acumulada. En la mayoría de las situaciones analizadas no se produjeron cambios significativos en el pH. En general, se observaron incrementos de CO, Pdisp y NT en el suelo PQc/c respecto AQ y las diferencias en los contenidos de estos nutrientes entre PQc/c y PQlluvia no fueron significativas. La deposición de cenizas producto de la combustión incompleta de la biomasa y su posterior incorporación al suelo por efecto de la lluvia provocó un aporte de nutrientes que contribuyen a la fertilidad potencial del sitio. Una quema prescripta de estas características, en sistemas naturales como el utilizado en este estudio, no produce efectos perjudiciales sobre la fertilidad química del suelo.

## ABSTRACT

The fire, from an ecological perspective, it's an environmental factor which has the ability to shape the structure of several terrestrial ecosystems allowing to maintain or modify their diversity and stability. In spite of the frequent use of the fire as a tool of handling of natural grassland, there is scarce regional information about the effect caused by fire on the soil and their fertility. The aim of this study was to evaluate the effects of one controlled burning over the pH and the contents of organic carbon (CO), available phosphorus (Pdisp) and total nitrogen (NT) of a soil of the region of the caldenal pampeano. The test was carried out in a plot of 20 ha of caldén forest, sampling the first 2,5 cm before the burning (AQ), immediately after it, with ash (PQc/c) and without ash (PQs/c), and after the first later rain to the burning (PQlluvia). To decrease the space variability, the sampling was carried out in three areas with different vegetation composition: herbaceous stratum dominated by forage species (F), dominated by non forage species (NF) and areas with predominance of bushes (A). In the surface of the ground in A, they registered the biggest temperatures (427°C) due to the type and quantity accumulated vegetation. In most of the analyzed situations the significant changes didn't take place on the pH. In general, increments of CO, Pdisp and NT were observed on the soil PQc/c with regard to AQ and the differences in the contents of these nutrients between PQc/c and PQlluvia they were not significant. One burning prescribed of these characteristics over natural systems as the one used in this study, it doesn't produce harmful effects on the chemical fertility of the soil.

## ÍNDICE

Introducción.....	6
Materiales y Métodos	
<i>Área de Estudio</i> .....	11
<i>Quema controlada a campo</i> .....	13
<i>Diseño Experimental</i> .....	13
<i>Métodos de Laboratorio</i> .....	16
<i>Análisis Estadístico</i> .....	16
Resultados y Discusión	
<i>Cobertura Vegetal y Biomasa Aérea</i> .....	17
<i>Densidad Aparente y Temperaturas de Quema</i> .....	17
<i>pH</i> .....	19
<i>Carbono Orgánico Total</i> .....	21
<i>Fósforo Disponible</i> .....	23
<i>Nitrógeno Total</i> .....	25
Conclusión.....	26
Bibliografía.....	27

## INTRODUCCIÓN

El fuego es un proceso ecológico fundamental en los ecosistemas que dependen o son influidos por éste. Es un fenómeno natural que produce un fuerte impacto en los ecosistemas frágiles o con poca resiliencia, modificando rápidamente los componentes estructurales del mismo. Si bien es una de las prácticas más antiguas que el hombre ha utilizado como herramienta de manejo de pastizales naturales, se dispone de escasa información regional del efecto que causa sobre el suelo y su fertilidad.

El fuego fue considerado por mucho tiempo como un factor negativo que impedía el normal desarrollo de la sucesión vegetal, siendo por ende perjudicial para todo el ecosistema. Numerosas investigaciones, en distintas partes del mundo, demuestran que la supresión del fuego en ambientes semiáridos provoca en el estrato herbáceo un predominio de material muerto y especies indeseables, sumado a esto, una marcada merma en la productividad. Así mismo, el fuego influye sobre la estructura y funcionamiento del ecosistema, afectando el ciclo de nutrientes, ciclo del agua, y la dinámica de las poblaciones, tanto animales como vegetales.

Los efectos del fuego se observan a distintos niveles desde la planta individual hasta el nivel de paisaje. La comprensión de los regímenes del fuego es esencial para determinar si las acciones humanas son beneficiosas o dañinas desde una perspectiva ecológica y/o productiva. Los ecosistemas pueden ser descriptos en términos de regímenes de fuego típicos, operando dentro de un rango esperado de variación de los atributos o características clave de los regímenes del fuego. Los atributos incluyen la frecuencia (incluida la ausencia del fuego), la severidad, la intensidad, la escala espacial, la estacionalidad, la fuente predominante de ignición y el tiempo de permanencia de las llamas (The Nature Conservancy, 2004). Trollope (1991) destaca la importancia de estudiar el comportamiento del fuego mediante la observación de estos parámetros cuantitativos, ya que los mismos están estrechamente relacionados con los efectos sobre la vegetación y el suelo.

Las quemadas prescritas, a diferencia de los incendios accidentales, sean éstos causados por factores humanos o naturales, se distinguen por tener objetivos claros y requerir condiciones ambientales apropiadas como humedad relativa, velocidad del viento y temperatura del aire, para su implementación (Sipowicz, 1994). La percepción de que los fuegos no planificados pueden producir efectos no deseados sobre el ecosistema y daños a instalaciones públicas y privadas, ha impulsado el empleo del fuego bajo régimen

controlado y prescripto, como una herramienta de manejo preventivo para el mantenimiento y mejoramiento de los pastizales naturales (Peláez, 1995).

La quema prescripta es una práctica controlada del uso del fuego por personal calificado, sobre un material combustible localizado puntualmente, en un área específica, bajo condiciones climáticas seleccionadas con el fin de lograr objetivos de manejo predeterminados bien definidos, quedando el fuego confinado al área tratada y en un marco de seguridad (Green 1981, Wade y Lunsford 1988, Weber y Taylor 1992).

A pesar de que las quemas prescriptas son quemas rápidas que no alcanzan elevadas temperaturas, Wright y Bailey (1982) sostienen que en áreas con predominio de materiales gruesos, el aumento de temperatura es mayor y el tiempo de permanencia de temperaturas elevadas es superior donde existe acumulación de este tipo de combustibles. A su vez, los mismos autores argumentan que en zonas de pastizales, la temperatura aumenta solo en el primer centímetro de suelo, mientras que los cambios a mayor profundidad son despreciables. Este efecto está en estrecha relación con la cantidad y características químicas de los combustibles finos presentes en el sitio (Kunst y Rodríguez, 2003) y con la conductividad térmica del suelo que está condicionada por la textura, el contenido de material orgánico, densidad aparente y humedad. (Abu-Hamdeh y Reeder, 2000; Campbell *et al.*, 1995). En un área donde exista heterogeneidad en la cobertura vegetal, en cuanto a su calidad y cantidad, la temperatura máxima alcanzada en una quema prescripta será variable.

En ecosistemas que dependen de la acción del fuego, como sucede en regiones semiáridas, la reintroducción del fuego en forma de quema prescripta puede tener diferentes finalidades. El uso más frecuente es para la reducción de la fitomasa altamente combustible permitiendo la utilización del rebrote de gramíneas (Llorens y Frank, 1999), disminuyendo así la probabilidad de propagación de incendios (Bóo, 1990; Nazar Anchorena, 1990; Sipowicz, 1994).

En la provincia de La Pampa, en zonas con predominio de pastizales con bosque de caldén, los productores ganaderos utilizan con frecuencia el fuego como una herramienta de manejo (Nazar Anchorena, 1988). Este autor señala numerosos beneficios, entre ellos la eliminación y/o control de plantas arbustivas, incremento de la producción primaria, rejuvenecimiento de plantas leñosas, eliminación del material acumulado no forrajero, preparación de camas de siembra y mejoramiento del manejo de la hacienda en los potreros. Entre los inconvenientes observados, señala la destrucción de la materia orgánica, subutilización de los potreros quemados durante un tiempo y la destrucción de especies

valiosas sino fuesen controlados factores como frecuencia, época del año, humedad del aire y del suelo, temperatura y velocidad del viento.

El suelo visto como hábitat de organismos vivos (hongos, bacterias, lombrices y otros), que intervienen en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica como fuente de nutrientes para las plantas, se ve afectado en mayor o menor grado dependiendo de la intensidad y frecuencia de las quemadas. De la misma manera, las condiciones físicas del suelo son alteradas en su textura y otras propiedades inherentes (Hernández y Martínez, 2000; Trucco *et al.*, 2006; Hepper *et al.*, 2008).

El mayor efecto del fuego sobre las propiedades del suelo es indirecto debido a la eliminación de la vegetación muerta, la reducción de la broza en superficie, la deposición de cenizas y como consecuencia de todo ello se altera el microclima (Raison, 1979; Knapp y Seastedt, 1986).

Las características químicas y biológicas del suelo sufren determinadas modificaciones debido a la quema de la vegetación presente. Estas modificaciones serán en función de las características de los regímenes del fuego y el tipo de vegetación predominante. En un estudio donde se evaluaron los efectos de quemadas controladas sobre algunos nutrientes de suelos del caldenal pampeano, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los suelos quemados y no quemados. Los autores atribuyen esto a la heterogeneidad espacial en la distribución de los nutrientes del suelo, la que aumenta considerablemente en la situación post-quema y a la diferencia en la cobertura vegetal entre cada muestra de suelo (Trucco *et al.* 2006; Bissolino y Dagnino, 2006). La realización del muestreo en parches de vegetación homogénea permitirá disminuir la variabilidad espacial.

Entre las modificaciones producidas por el fuego sobre las propiedades químicas del suelo, numerosos trabajos mencionan cambios en los contenidos de nutrientes esenciales para la sostenibilidad a largo plazo de la producción del ecosistema.

La materia orgánica del suelo es un factor central en la funcionalidad de los suelos por los múltiples beneficios que tiene como sustrato para los microorganismos y sobre la disponibilidad de nutrientes para los vegetales, la capacidad de retención hídrica y la estructura del suelo (Doran y Smith, 1987). En suelos de pastizales, se ha observado que el fuego provoca incrementos de materia orgánica y de disponibilidad de nitrógeno en el corto plazo (1,2 años) en las capas superficiales del suelo (Raison, 1979). El material orgánico presente en el suelo es mineralizado por los componentes de la biota del suelo, produciendo a través de este proceso especies químicas disponibles para las plantas y la



misma biota. El fuego ejerce un efecto similar al de la degradación biológica de la materia orgánica ya que los productos finales en ambos casos son similares. La diferencia radica en la velocidad de dichos procesos, mientras que la degradación biológica comprende días hasta años dependiendo del grado de humificación de la materia orgánica, la combustión ocasionada por el fuego se produce en segundos (García Oliva *et al.*, 1999).

Si bien los fuegos son considerados una herramienta para acelerar el proceso de liberación de nutrientes de los residuos, el contenido de nutrientes del suelo puede disminuir, aumentar o no verse alterado (Hernández *et al.*, 1997). Las pérdidas podrían deberse a volatilización, lavado, arrastre de las cenizas por convección durante la quema o por erosión eólica posterior a la misma (Giardina *et al.*, 2000). El enriquecimiento se puede atribuir a la mineralización de la materia orgánica del suelo y a la ceniza depositada por combustión de la biomasa.

Uno de los nutrientes cuyo contenido es crítico para el crecimiento vegetal es el fósforo. Las plantas absorben fósforo solo en forma de iones inorgánicos desde la solución del suelo, donde el fósforo inorgánico existe en un equilibrio dinámico con una mezcla compleja de formas inorgánicas y orgánicas y no hay una especie química única que pueda ser identificada como fósforo disponible para las plantas (Holford, 1997).

Dependiendo de la temperatura alcanzada en una quema, el fósforo podría liberarse por combustión de la materia orgánica del suelo, pero su disponibilidad dependerá del pH del suelo (Kettering *et al.*, 2002). Giardina *et al.* (2000), Quaglia *et al.* (1999) encontraron aumentos en el pH del suelo seguido de una quema. El incremento de pH por efecto del fuego provocará desplazamiento de los equilibrios de solubilidad de los fosfatos de calcio, predominantes en los suelos de esta región, disminuyendo así el contenido de fósforo disponible. Por otra parte con quemas de baja intensidad, como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica del suelo, se producirían aumentos en los niveles de fósforo disponible (Bissolino y Dagnino, 2006)

Smith *et al.* (2001) indican incrementos en la concentración de fósforo total y calcio total debido a una reducción física de las capas superficiales del suelo, mientras que atribuyen la disminución de nitrógeno total y carbono total a la volatilización de los mismos. Trucco *et al.* (2006) estudiando los efectos de una quema controlada sobre el carbono orgánico total de un suelo del caldenal pampeano, no encontraron diferencias significativas entre antes e inmediatamente después de la quema como tampoco al año, atribuyendo este resultado a la gran variabilidad espacial.

En la provincia de La Pampa, las lluvias ocurren principalmente entre la primavera y el verano, siendo marzo el mes con mayores precipitaciones y con vientos de baja intensidad y frecuencia, coincidentemente es uno de los meses donde se realiza la mayor cantidad de quemas. Sería de esperar que las quemas de inicio del otoño incrementen la cantidad de nutrientes incorporados al suelo debido al efecto de las lluvias y el menor riesgo de pérdida de cenizas por erosión eólica. Castelli y Lázari (2002) inmediatamente después de una quema controlada detectaron aumentos del contenido de fósforo total y de azufre, incrementos de pH y de la capacidad de intercambio catiónico en suelos bajo cobertura de especies leñosas y de la disponibilidad de nitrógeno principalmente bajo especies herbáceas atribuibles al aporte de cenizas.

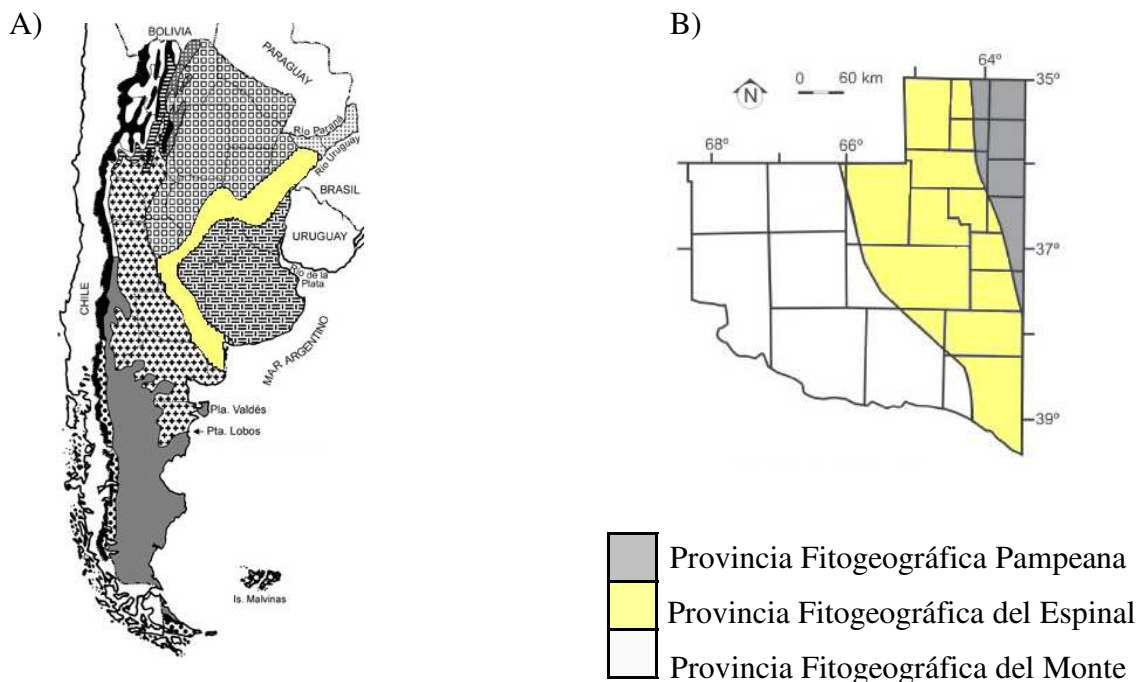
Por otra parte, Pazos y Mastelan (2000) en un estudio acerca de los cambios en la propiedades del suelo en un pajonal de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) sometido a fuego prescrito, concluyeron que la quema primaveral tuvo bajo efecto sobre el pH del suelo y contenidos de nitratos. Las variaciones estuvieron vinculadas a cambios estacionales y al régimen de precipitaciones respectivamente. También se produjeron efectos en la evolución de la materia orgánica y fósforo disponible. En el primer caso hay un efecto directo diez días posteriores a la quema, con un aumento en el contenido, atribuible a la acumulación de cenizas en superficie, y un efecto indirecto al cabo de un año, con incremento en el contenido debido a la mayor producción de biomasa en el pajonal. Para el fósforo disponible, se evidenció un pulso muy importante de incremento en las primeras 4 a 15 semanas que siguen a la quema, posiblemente vinculado al pasaje de formas menos disponibles de fósforo a la fracción más lábil, por efectos de las altas temperaturas, así como la incorporación de cenizas en la porción superficial del suelo.

El objetivo de este estudio fue: a) determinar si se producen cambios en el pH y los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible de la capa superficial de un suelo del caldenal por efecto de una quema controlada en función de la vegetación predominante; b) establecer el aporte de nutrientes al suelo producido por la incorporación de cenizas producto de la combustión de la biomasa acumulada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.- Área de Estudio

El sitio de estudio está ubicado en la región del caldenal, en la provincia de La Pampa. Desde el punto de vista fitogeográfico, la provincia posee formaciones boscosas pertenecientes a las Regiones Espinal y Monte en el centro y oeste respectivamente, mientras que el sector oriental pertenece a la Región Pampeana. En el Espinal está representado el distrito del Caldén que se extiende desde el sur de San Luis, centro de La Pampa hasta el sur de Buenos Aires (Fig.1A). En La Pampa se desarrolla entre las isohietas de 400 y 600 mm, ocupando principalmente áreas bajas y depresiones (Cano *et al.*, 1980) (Fig 1B). El caldenal es una formación boscosa característica de la región central semiárida templada de Argentina representado por bosques xerófilos caducifolios, estepas arbustivas y de gramíneas (Cabrera, 1976).



**Figura 1:** Provincia Fitogeográfica del Espinal (A). Ubicación geográfica del Espinal en la provincia de La Pampa (B).

El caldén forma bosques muy abiertos con aspecto de sabana y bosques densos. En el bosque abierto la cobertura arbórea no supera el 20% y la proporción de especies forrajeras es importante, mientras que en el bosque denso la cobertura arbórea supera el 50% y entre las gramíneas predominan las especies no forrajeras (Estelrich *et al.*, 2005).

Los suelos de esta región pertenecen en su mayoría a los órdenes taxonómicos Molisoles, predominantes en el sector oriental. Sobre la fracción occidental prevalecen los Entisoles, y en menor proporción se hallan los Aridisoles que se encuentran en áreas reducidas, asociados a depresiones ocupadas por lagunas salinas temporarias. Dentro del orden de los Molisoles, los Haplustoles son los suelos de mayor representatividad espacial, así como los Ustipsamientos dentro de los Entisoles (Adema *et al.*, 2003).

Las condiciones meteorológicas de la región del caldenal se caracterizan por poseer un promedio anual de precipitaciones de 550 mm. Estas precipitaciones poseen una distribución mayoritaria primavero-estival con alta variabilidad mensual. El balance hídrico arroja un déficit, en general para toda la provincia, entre los meses de Octubre a Marzo. Si bien es la época de mayores precipitaciones, la elevada temperatura y la consecuente mayor evapotranspiración hacen que las deficiencias hídricas aumenten. El índice hídrico permite ubicar al caldenal como de Régimen Hídrico Semiárido (Jacyszyn y Pitaluga, 1977). Este ecosistema se desarrolla en un clima templado continental con temperatura media anual entre 14°C y 16°C. Cabe resaltar que La Pampa posee una gran amplitud térmica que alcanza valores de 16 grados.

El ensayo se instaló en un potrero de 20 hectáreas ubicado en el Establecimiento “Bajo Verde” perteneciente a la Universidad Nacional de La Pampa, situado a 35 Km. hacia el Norte de la ciudad de Santa Rosa (NE: Lat. 36°29'18.0'' long 64°37'03.4'' ; NW: Lat. 36°29'20.5'' long 64°37'29.1'' ; SE Lat. 36°29'42.4'' long 64°37'03.7'' ; SW: Lat. 36°29'42.2'' long 64°37'28.9''). Habitualmente el potrero es utilizado para pastoreo, pero con el objetivo de acumular material combustible, el mismo fue excluido de animales 6 meses antes de realizar la quema.

Previo al evento, sobre el sitio de estudio se clasificaron áreas con fisonomías vegetativas diferentes:

**Área F:** estrato graminoso-herbáceo dominado por especies forrajeras con predominio de *Piptochaetium napostaense* acompañado de *Poa ligularis* como especie secundaria.

**Área NF:** estrato graminoso-herbáceo dominado por especies no forrajeras cuyas especies mas relevante son *Stipa ichu*, *Stipa tenuíssima* y *Stipa brachychaeta*.

**Área A:** predominio de rebrotes de *Prosopis caldenia* producto de un incendio anterior y el estrato graminoso-herbáceo dominado por *Stipa ichu*, *Stipa tenuíssima* y *Stipa brachychaeta*.

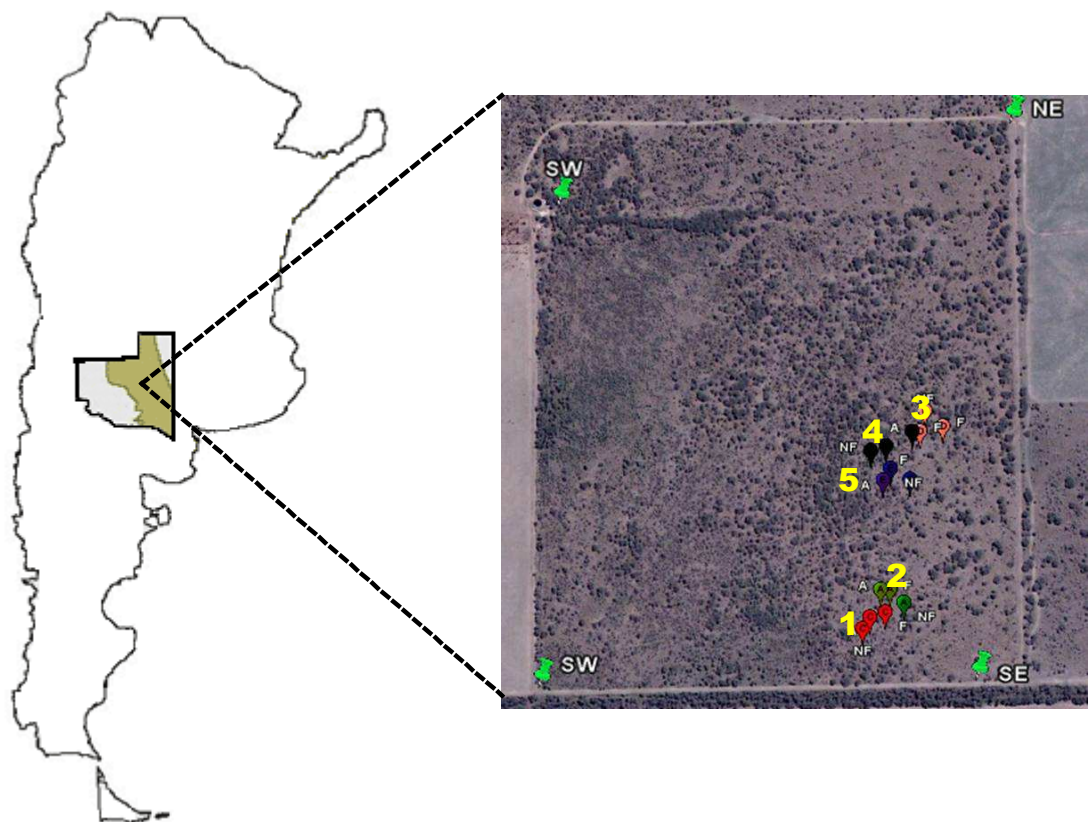
## 2.- Quema controlada a campo

La quema fue realizada el día 15 de Abril de 2008 por personal especializado de Defensa Civil de la provincia de La Pampa. Las condiciones climáticas fueron: temperatura ambiente promedio 25 °C, humedad relativa del aire 25% y vientos del NE oscilando entre 6 y 20 Km/h.

La técnica de ejecución fue iniciar la quema en contra del viento afectando primeramente los bordes del potrero y luego se largó el fuego hacia el interior del mismo a favor del viento. Todo el proceso se llevó a cabo en el transcurso de dos horas y media.

## 3.- Diseño Experimental

Dentro del potrero, se seleccionaron al azar 5 parches dentro del área de vegetación gramíneo-herbáceo dominados por especies forrajeras (F), 5 parches dentro del área gramíneo-herbáceo dominados por especies no forrajeras (NF) y 5 parches dentro del área dominada por arbustos leñosos (A) (Fig. 2). Los mismos fueron identificados con estacas de alambre.



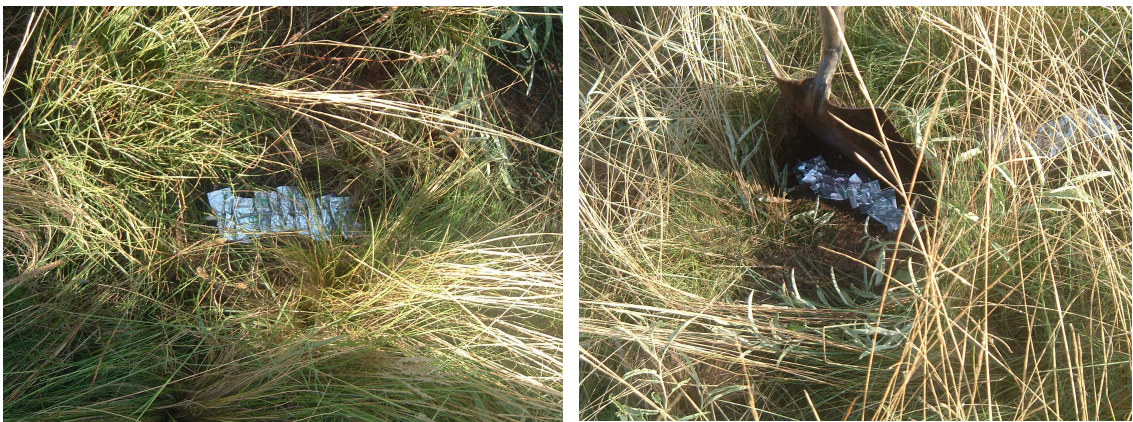
**Figura 2:** Imagen satelital de la ubicación de los parches dentro del potrero. Cada uno de ellos se compone de 3 áreas con fisonomías vegetativas distintas: área F, área NF y área A, haciendo un total de 15 parches (5 F, 5 NF y 5 A).

El muestreo se realizó en tres épocas diferentes y en las siguientes situaciones (Fig. 3):

**1° muestreo.** La primera observación de campo y la extracción de muestras de suelo se llevaron a cabo 2 días antes la quema (AQ). En cada área de vegetación se evaluó la cobertura vegetal con el Método de Daubenmire y la biomasa aérea correspondiente con el Método de Corte y Pesada.

Para los análisis químicos de laboratorio, en cada parche se tomaron 3 muestras de suelo disturbado sin broza de los primeros 2,5 cm. del perfil. Con el objetivo de clasificar el suelo desde el punto de vista textural, se tomaron al azar 3 muestras de suelo disturbado de los primeros 5 cm del perfil y para la determinación de densidad aparente, en cada parche se tomaron 3 muestras sin disturbar.

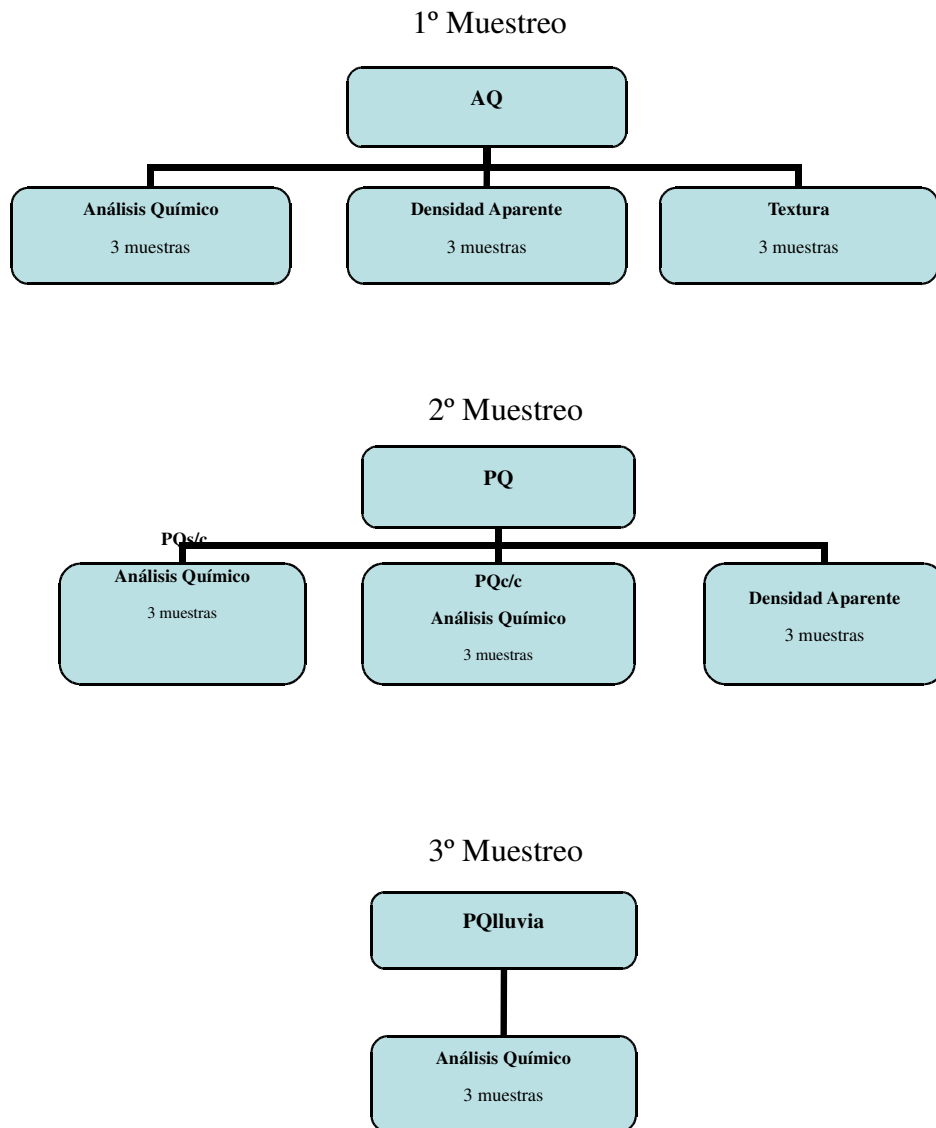
Para estimar la temperatura máxima alcanzada en el suelo durante la quema se colocaron previamente, un conjunto de crayones sensibles al calor (tempils) sobre la superficie, a los 2 y 4 cm de profundidad sin disturbar el terreno (Fig. 4). Dichos tempils cubren un rango de temperatura desde 52°C a 649°C (10 crayones: 52°C, 93°C, 121°C, 163°C, 204°C, 246°C, 316°C, 427°C, 538°C y 649°C).



**Figura 4:** Conjunto de crayones (tempils) colocados en superficie, a los 2 y 4 cm. de profundidad.

**2° muestreo.** Al día siguiente de ocurrida la quema se tomaron 3 muestras para la determinación de densidad aparente y para los análisis químicos se tomaron muestras en dos condiciones: 3 muestras de suelo disturbado con la ceniza depositada en superficie (PQc/c) y 3 muestras de suelo disturbado a las que previamente se les quitó la ceniza (PQs/c).

**3° muestreo.** Transcurridos 45 días de la quema, cuando se produjo la primera lluvia que alcanzó 12 mm, en cada parche se tomaron 3 muestras de suelo disturbado para análisis químico.



**Figura 3:** Diseño de muestreo aplicado para los 15 parches (5 F, 5 NF y 5 A).

#### 4.- *Métodos de Laboratorio*

Las muestras extraídas para los análisis químicos fueron identificadas, llevadas al laboratorio, secadas al aire, pasadas por un tamiz de malla de 2mm y conservadas en bolsas de polietileno con sus respectivos rótulos hasta el momento de ser analizadas. Sobre dichas muestras se determinó:

- pH en agua (relación 1:2.5) por potenciometría
- Fósforo Disponible (Pdisp) por el método Bray y Kurtz (Bray y Kurtz, 1945)
- Carbono Orgánico Total (CO) por oxidación vía húmeda (Walkley y Black, 1934).

Sobre muestras compuestas obtenidas de las 3 repeticiones de cada parche de vegetación homogénea se determinó Nitrógeno Total (NT) por el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

Con el objeto de determinar la Textura se realizó la determinación de la fracción limo menor a 50  $\mu\text{m}$  y la fracción arcilla por el método de la pipeta de Robinson (Schlichting *et al.*, 1995) dispersando la muestra con hexametáfosfato de sodio. En las muestras correspondientes se determinó Densidad Aparente con el método de los cilindros (Schlichting *et al.*, 1995).

#### 5.- *Análisis Estadístico*

En función del diseño experimental y con el objetivo de determinar, en cada una de las épocas de muestreo, si los suelos bajo distinta vegetación difieren en el pH y en los contenidos de CO, Pdisp y NT se realizó un análisis de la varianza con estructura anidada, tomando como factor principal el tipo de vegetación (F, NF y A) y como factor anidado los parches (5). Cuando el análisis dio diferencias significativas entre parches se realizó el test de comparación de medias LSD ( $p < 0,05$ ).

A fin de determinar si la quema produjo efectos significativos en los contenidos de CO, Pdisp, NT y en el pH del suelo, se realizó una prueba T para observaciones apareadas ( $p < 0,05$ ) para cada conjunto de datos de parches de vegetación homogénea. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa InfoStat/Profesional versión 2007 (Universidad Nacional de Córdoba Estadística y Biometría F. C. A., 2007)



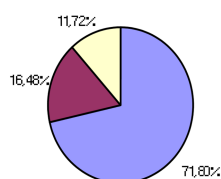
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ▪ *COBERTURA VEGETAL Y BIOMASA AÉREA*

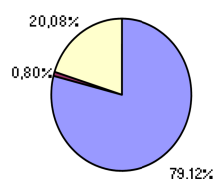
De la evaluación de la cobertura vegetal de cada área de vegetación los resultados se observan en la siguiente figura:

#### *Cobertura vegetal de los diferentes parches de vegetación seleccionados*

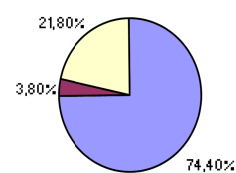
Cobertura vegetal en área F



Cobertura vegetal en área NF



Cobertura vegetal en área A



Los datos mostrados son valores promedios de los 5 parches de cada área de vegetación homogénea.

La biomasa aérea alcanzó 2300 Kg Materia Seca/ha en el área F, 10000 Kg Materia Seca/ha en el área NF y en el área A la biomasa aérea del estrato arbustivo fue estimada en 40000 Kg Materia Seca/ha y en el estrato gramíneo-herbáceo fue de 10000 Kg Materia Seca/ha.

### ▪ *DENSIDAD APARENTE Y TEMPERATURAS DE QUEMA*

El suelo fue clasificado como Haplustol éntico de textura franco arenosa (11,7% de arcilla, 21,6% de limo y 66,7% de arena). En todos los casos la densidad aparente (Dap) no fue afectada significativamente por efecto de la quema (Tabla 1). Teniendo en cuenta este resultado los contenidos de nutrientes fueron referidos a una determinada masa de suelo.

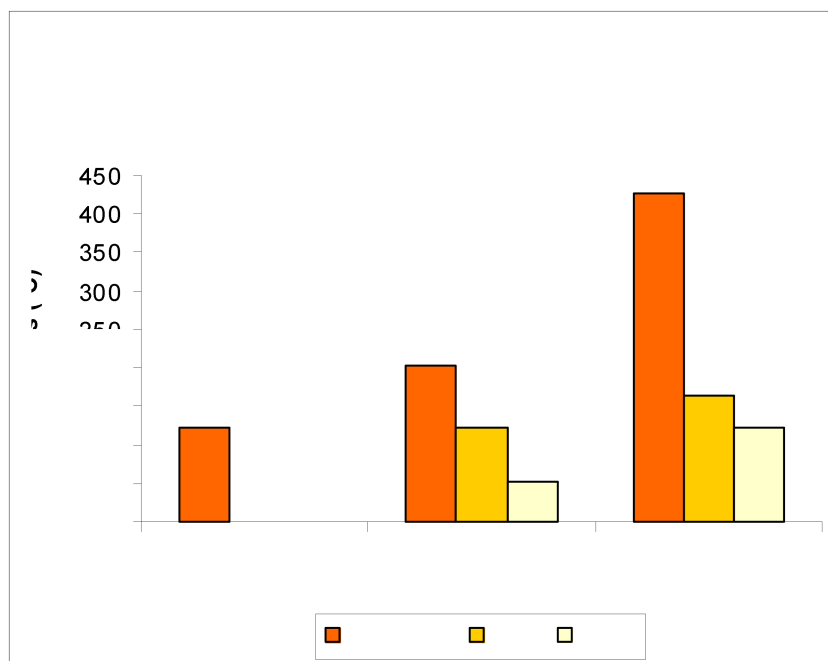
**Tabla 1:** Densidad aparente del suelo antes y después de la quema bajo diferentes tipos de vegetación.

Tipo de vegetación	Dap (g/cm <sup>3</sup> ) previo a la quema	Dap (g/cm <sup>3</sup> ) posterior a la quema
<i>Forrajera</i>	1.06 ns	1.04 ns
<i>No Forrajera</i>	0.86 ns	0.83 ns
<i>Arbustiva</i>	0.91 ns	0.88 ns

Los valores son promedio de 15 datos. ns: indica diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ) entre columnas de una misma fila.

En relación a las temperaturas máximas alcanzadas en el suelo por la quema, la Fig.5 muestra como variaron dichas temperaturas dependiendo del tipo de vegetación predominante y en función de las distintas profundidades.

Se puede observar que en el suelo del área A, se registraron las mayores temperaturas tanto en superficie como a los 2 y 4 cm de profundidad. Esto se debe a que el tipo de vegetación arbustiva, dadas las características intrínsecas de la misma, es mucho más sensible a los efectos del fuego. Le siguen en orden decreciente el área NF y en último lugar, el área F donde se detectaron las menores temperaturas. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Wright y Bailey (1982), quienes sostienen que el aumento de temperatura es mayor en áreas con predominio de material combustible grueso como los arbustos. En zonas de pastizales, la temperatura aumenta solo en el primer centímetro de suelo, mientras que los cambios a mayor profundidad son despreciables. Este efecto está en estrecha relación con la cantidad y características químicas de los combustibles finos presentes en el sitio (Kunst y Rodríguez, 2003) y con la conductividad térmica del suelo que está condicionada por la textura, el contenido de material orgánico, densidad aparente y humedad. (Abu-Hamdeh y Reeder, 2000; Campbell *et al.*, 1995).



**Figura 5:** Temperaturas alcanzadas en el suelo bajo distintos tipo de vegetación y a diferentes profundidades.

- *pH*

Los valores de pH del suelo oscilaron entre 5,63 y 6,87, siendo más bajos los correspondientes al suelo de los parches del área NF y los más altos al suelo de los parches del área A. Los resultados mostrados en la Tabla 2, indican que existen diferencias en los valores de pH de suelos con diferente vegetación dominante para una misma época de muestreo. En las épocas AQ y PQc/c el pH del suelo en A fue significativamente mayor que en NF. Por otro lado en la época PQs/c el pH del suelo en F fue significativamente mayor que en NF y por último, en PQlluvia, el pH del suelo en NF fue menor que en F y A.

En general el pH del suelo en A fue mayor que en F y NF. Esto se debió a la calidad y cantidad de la materia orgánica que depende de la vegetación presente y a la composición química de la misma, lo que genera un pH en el suelo superior a las restantes, teniendo en cuenta que la vegetación natural es uno de los numerosos factores que tienen influencia en el pH.

Analizando el efecto del fuego en un mismo tipo de vegetación (Fig. 6), únicamente en el suelo bajo dominio de arbustos se detectaron diferencias significativas. El pH del suelo en PQc/c y PQlluvia fue superior al pH en PQs/c. En los demás sitios de vegetación las diferencias no fueron significativas ( $p > 0.05$ ).

Estos resultados serían atribuibles a varios factores: en primer lugar el aumento de pH después de la quema producto de la deposición de cenizas en la superficie, provocaría una reducción de la acidez debido al aporte de especies químicas como consecuencia del proceso de mineralización del material vegetal (González, 2002). En segundo lugar, que dichas variaciones hayan sido detectadas solo en el área A, serían producto del tipo y cantidad de vegetación dominante. La acción del fuego en la vegetación arbustiva fue mas pronunciada, adquiriendo mayor temperatura la superficie del suelo.

La falta de cambios en el pH del suelo de los demás parches de vegetación se debió a las bajas temperaturas alcanzadas en el suelo durante la quema. Estudios realizados por Hepper *et al.* (2008), en suelos de la región del caldenal, reportan que se produjeron aumentos de pH cuando el suelo fue calentado a temperaturas superiores a 500°C.

Tabla 2: pH del suelo para cada tipo de vegetación y época de muestreo

Tipo de vegetación	Época de muestreo			
	AQ*	PQs/c*	PQc/c*	PQlluvia*
	-----pH-----			
<i>Forrajera</i>	6.24 <sub>ab</sub>	6.40 <sub>b</sub>	6.51 <sub>ab</sub>	6.46 <sub>b</sub>
<i>No Forrajera</i>	5.80 <sub>a</sub>	5.88 <sub>a</sub>	6.07 <sub>a</sub>	5.63 <sub>a</sub>
<i>Arbustiva</i>	6.65 <sub>b</sub>	6.33 <sub>ab</sub>	6.87 <sub>b</sub>	6.71 <sub>b</sub>

\* Los datos son valores promedio de 15 muestras. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre valores de una misma columna.

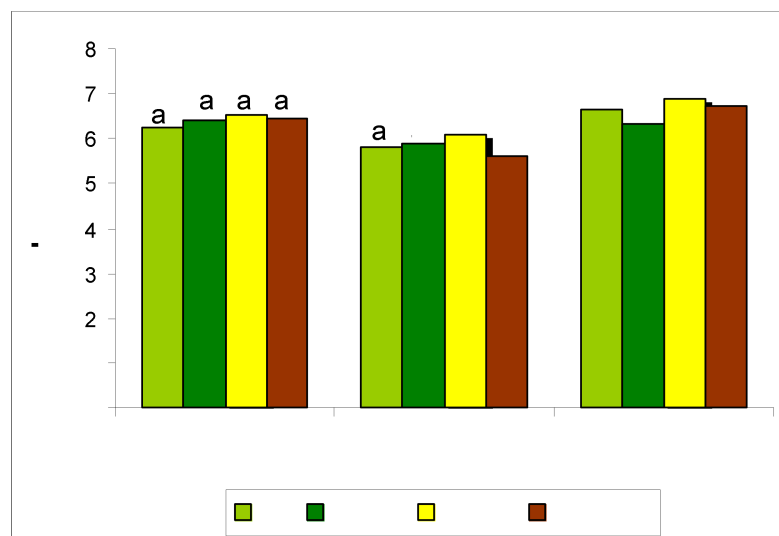


Figura 6: pH del suelo en los diferentes parches de vegetación y épocas de muestreo. Letras distintas dentro de un mismo tipo de vegetación indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre épocas de muestreo.

• *CARBONO ORGÁNICO TOTAL (CO)*

Los contenidos de CO del suelo fluctuaron entre 1.62 g/100 g de suelo en el área de forrajeras y 5.06 g/100 g de suelo en el área de no forrajeras.

La Tabla 3 muestra los contenidos de CO en cada área de vegetación y en las distintas épocas de muestreo. Tanto en AQ y PQc/c se detectó que el contenido de CO del suelo en NF fue significativamente superior que en F y A. Por otra parte, en las épocas de muestreo PQs/c y PQlluvia los contenidos de CO en NF fueron mayores que en F. Estos resultados se deberían a una mayor acumulación de residuos vegetales finos en el sitio NF y a la diferencia en la calidad de los mismos, que ocasionan velocidades distintas de descomposición (Castelli y Lazzari, 2002).

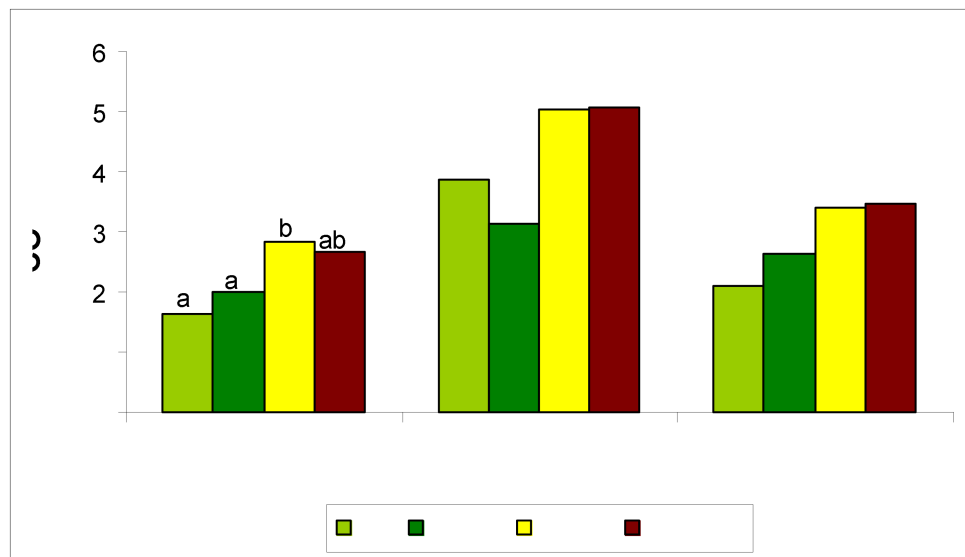
Estudiando el efecto de la quema en cada área de vegetación homogénea (Fig. 7), se observó que tanto en F como en A, el contenido de CO del suelo aumentó significativamente en la época de muestreo PQc/c respecto AQ y PQs/c. Para el caso de NF las diferencias estuvieron dadas en el contenido de CO de PQs/c, siendo este inferior a PQc/c y PQlluvia. Se podría inferir entonces, que la variación en los contenidos de CO sería también en función del tipo y calidad de vegetación presente. Los aumentos de CO en las situaciones PQc/c y PQlluvia estarían dados por el contenido de materia orgánica remanente en las cenizas que quedaron depositadas sobre la superficie del suelo y luego fueron incorporadas al mismo por acción de la lluvia.

No se encontraron variaciones significativas al comparar el contenido de CO del suelo AQ y PQs/c. Este hecho indica que la temperatura de quema no tuvo efecto sobre el contenido de CO del suelo lo cual podría ser consecuencia de las bajas temperaturas alcanzadas durante la quema. Hay antecedentes de estudios de laboratorio en suelos de esta región que reportan que el contenido de CO no tuvo cambios significativos cuando el suelo fue calentado a temperaturas inferiores a 500°C (Hepper *et al.*, 2008). Tampoco se detectaron diferencias en los resultados entre PQc/c y PQlluvia. Esto demuestra que la ceniza fue incorporada al suelo por efecto de la lluvia y que no se produjeron pérdidas por erosión hídrica y/o eólica en el tiempo transcurrido entre ambos muestreos.

**Tabla 3:** Contenidos de Carbono Orgánico del suelo para cada tipo de vegetación y época de muestreo

Tipo de vegetación	Época de muestreo			
	AQ*	PQs/c*	PQc/c*	PQlluvia*
<i>Forrajera</i>	1.62 <sub>a</sub>	2.01 <sub>a</sub>	2.82 <sub>a</sub>	2.66 <sub>a</sub>
<i>No Forrajera</i>	3.88 <sub>b</sub>	3.15 <sub>b</sub>	5.04 <sub>b</sub>	5.06 <sub>b</sub>
<i>Arbustiva</i>	2.09 <sub>a</sub>	2.64 <sub>ab</sub>	3.40 <sub>a</sub>	3.48 <sub>ab</sub>

\* Los datos son valores promedio de 15 muestras. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre valores de una misma columna.



**Figura 7:** Contenido de CO (%) del suelo en los diferentes parches de vegetación y épocas de muestreo. Letras distintas dentro de un mismo tipo de vegetación indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre épocas de muestreo.

• *FÓSFORO DISPONIBLE (P<sub>disp</sub>)*

En la Tabla 4 se presentan los contenidos de P<sub>disp</sub> en el suelo de las distintas áreas de vegetación y épocas de muestreo. Los suelos en todas las situaciones analizadas presentaron altos contenidos de P<sub>disp</sub>, oscilando entre 32.18 mg/kg en los parches del área F y 83.65 mg/kg en los parches del área NF. De los resultados obtenidos se observan diferencias en los contenidos de P<sub>disp</sub> en las épocas de muestreo AQ y PQs/c. En ambas situaciones los resultados fueron similares, detectando que en el sitio NF el contenido de P<sub>disp</sub> fue significativamente superior que en F y A en AQ, y mayor a F en PQs/c. Como se puede observar, el suelo bajo este tipo de material vegetal presenta mayores contenidos de P<sub>disp</sub> en comparación con los demás sitios al igual que lo observado para los contenidos de CO.

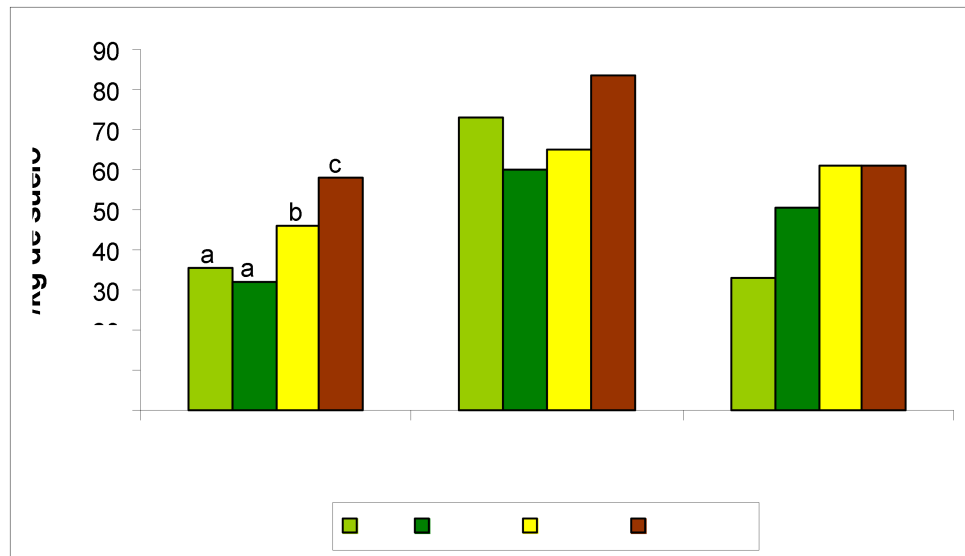
Considerando los posibles efectos de la quema, únicamente en los parches de A se encontraron aumentos significativos en los contenidos de P<sub>disp</sub> en PQs/c respecto de AQ (Fig. 8). Este aumento se debió a que en estos parches se alcanzaron las temperaturas más altas en la superficie del suelo (427°C) produciendo transformaciones de las formas menos solubles del P en formas más disponibles por desplazamiento de los equilibrios de solubilidad (Bissolino y Dagnino, 2006; Pazos y Mastelan, 2000) a pesar de que no se detectaron cambios significativos de pH. En la época de muestreo PQlluvia el contenido de P<sub>disp</sub> del suelo en el área A fue significativamente mayor que AQ y PQs/c. En el área F, los resultados mostraron que en la época PQc/c el contenido de P<sub>disp</sub> fue mayor que en AQ y PQs/c, y en la época PQlluvia los valores de P<sub>disp</sub> fueron superiores que los registrados en AQ, PQc/c y PQs/c. En el área NF el contenido de P<sub>disp</sub> en la época PQlluvia fue superior respecto de PQs/c.

Los resultados demuestran que el fuego produjo un efecto indirecto sobre los contenidos de P<sub>disp</sub> en el suelo de las áreas F y NF. Como se puede observar estos valores aumentaron una vez ocurrida la quema cuando las muestras de suelo fueron evaluadas conjuntamente con la ceniza depositada. Esto indica que la incorporación de cenizas en la porción superficial del suelo generó un aporte de P<sub>disp</sub> consecuencia de la liberación de este elemento por mineralización del material vegetal presente en el sitio.

**Tabla 4:** Contenido de Pdisp para cada tipo de vegetación y época de muestreo

Tipo de vegetación	Épocas de muestreo			
	AQ*	PQs/c*	PQc/c*	PQlluvia*
-----mg P/kg suelo seco-----				
<i>Forrajera</i>	35.54 <sub>a</sub>	32.18 <sub>a</sub>	46.19 <sub>a</sub>	57.97 <sub>a</sub>
<i>No Forrajera</i>	73.08 <sub>b</sub>	59.76 <sub>b</sub>	64.95 <sub>a</sub>	83.65 <sub>a</sub>
<i>Arbustiva</i>	33.07 <sub>a</sub>	50.75 <sub>ab</sub>	60.99 <sub>a</sub>	61.17 <sub>a</sub>

\* Los datos son valores promedio de 15 muestras. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre valores de una misma columna.



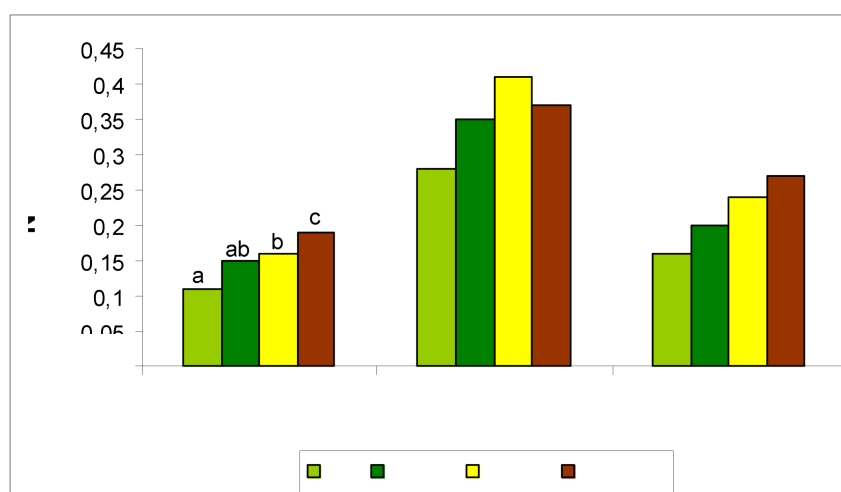
**Figura 8:** Contenido de Pdisp (mg P/Kg de suelo) del suelo en los diferentes parches de vegetación y épocas de muestreo. Letras distintas dentro de un mismo tipo de vegetación indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre épocas de muestreo.



• *NITRÓGENO TOTAL (NT)*

En la Fig. 9 se presentan los contenidos de nitrógeno total del suelo en las distintas áreas de vegetación y épocas de muestreo. Los contenidos estuvieron comprendidos entre 0.11 y 0.41 g de N /100g de suelo correspondientes a los sitios F y NF respectivamente. En general, los resultados indican que en los parches de A y NF los contenidos de NT no experimentaron cambios significativos en las distintas épocas de muestreo. En las áreas bajo arbustos únicamente se detectó que el contenido de NT en la situación PQlluvia, fue significativamente mayor que en AQ mientras que en los parches NF los contenidos de NT aumentaron en PQc/c respecto a los valores registrados en AQ. Las mayores variaciones en el contenido de NT se manifestaron en las áreas bajo especies forrajeras, donde los valores detectados en la época PQc/c fueron superiores respecto de AQ y en PQlluvia los contenidos de NT fueron mayores respecto a las demás épocas de muestreo. Este último resultado evidencia un aporte de nitrógeno desde otras áreas.

Analizando estos resultados, podemos inferir que la quema tendría efectos sobre el contenido de este nutriente en el suelo. Existen evidencias de que la presencia de cenizas y posterior incorporación de las mismas al suelo, genera un aumento del contenido de NT en el sistema. Estudios realizados por Castelli y Lazzari (2002) indicaron aumentos de nitrógeno disponible en el suelo principalmente bajo especies herbáceas atribuidos al aporte de cenizas. A partir de los resultados encontrados en nuestro estudio, podemos deducir que no se han provocado pérdidas de nitrógeno por volatilización, lavado o arrastre de las cenizas por convección durante la quema o por erosión eólica y/o hídrica posterior a la misma durante el tiempo transcurrido entre los muestreos.



**Figura 9:** Contenido de NT (%) del suelo en los diferentes parches de vegetación y épocas de muestreo. Letras distintas dentro de un mismo tipo de vegetación indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre épocas de muestreo.

## CONCLUSIÓN

El ensayo permitió determinar que los cambios detectados en cada uno de los parámetros analizados fue producto de la combinación de varios factores, entre ellos las temperaturas alcanzadas en el suelo durante la quema, tipo y cantidad de vegetación dominante y presencia de cenizas en superficie, que actuando en conjunto hacen a la dinámica del ecosistema.

El muestreo en parches de vegetación homogénea disminuyó la variabilidad espacial y permitió detectar cambios provocados por la quema cuya magnitud dependió del tipo de vegetación dominante.

Las mayores temperaturas en el suelo fueron registradas sobre el área bajo dominio de arbustos debido a las características intrínsecas del material vegetal y a la mayor cantidad de biomasa aérea respecto a las demás áreas. Como consecuencia, se detectó un incremento en el contenido de fósforo disponible luego de la quema cuando el suelo fue evaluado sin la ceniza. En la misma situación, no se detectaron variaciones en ninguno de los nutrientes evaluados en el suelo bajo especies forrajeras y no forrajeras, ya que en estos sitios las máximas temperaturas registradas no fueron suficientes para provocar cambios.

En general, los resultados demostraron que se produjo un aumento en los contenidos de CO, P<sub>disp</sub> y NT en las diferentes áreas de vegetación homogénea después de la quema, cuando el suelo fue analizado junto con la ceniza depositada sobre el mismo. El aumento de CO indicó que se produjo la combustión incompleta de la biomasa aérea y broza.

En ningún caso se detectaron disminuciones significativas en los parámetros determinados al comparar la situación PQlluvia respecto de PQc/c. Esto manifiesta que no se han producido pérdidas de cenizas por procesos de erosión hídrica y/o eólica durante el período de muestreo y que las mismas han sido incorporadas al suelo.

Una quema prescripta de estas características, en sistemas naturales típicos de regiones semiáridas, como el caldenal, no produce efectos negativos sobre la fertilidad química del suelo. Por el contrario, la deposición de cenizas producto de la combustión incompleta de la biomasa y su posterior incorporación al suelo por efecto de la lluvia genera un aporte de nutrientes que contribuyen a la fertilidad potencial del sitio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Hamdeh NH and Reeder RC. 2000.** Soil thermal conductivity: effects of density, moisture, salt concentration, and organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1285-1290.
- Adema ECO, Babinec FJ, Buschiazzo DE, Martín MJ, Peinemann N. 2003.** Erosión Hídrica en suelos del caldenal. Publicación Técnica N° 53, INTA.
- Bissolino PH y Dagnino E. 2006.** Estudio de la dinámica de las fracciones de fósforo orgánico e inorgánico en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central del Área del Caldenal sometidos a quemas controladas. Trabajo Final de graduación de la carrera Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía, UNLPam. Biblioteca Facultad de Agronomía, UNLPam.
- Boó RM. 1990.** Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego. *Revista de la Facultad de Agronomía (La Pampa, Argentina)* 5: 63-80.
- Bray R and Kurtz L. 1945.** Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Bremner JM and Mulvaney CS. 1982.** Nitrogen total. En: Page A.L. et al.(ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties.* 2nd ed. Agron. Monog 9. Am. Soc. Agronomy Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. p. 595-624.
- Cabrera AL 1976.** Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enc. Arg. Agr. y Jard.* Tomo II, Fasc. 2. Acmé. Buenos Aires.
- Campbell G, Jungbauer J, Bristol K, Hungerford R. 1995.** Soil temperature and water content beneath a surface fire. *Soil Science.* 159:363-374.
- Cano E, Fernández B, Montes M. 1980.** La Vegetación de la Provincia de La Pampa y Carta de Vegetación 1:500000. en *Inv. Int. De los Rec. Nat. de la prov. de La Pampa.* INTA Fac. de Agronomía Prov. de La Pampa. Pp. 493.
- Castelli L y Lázzari MA. 2002.** Efecto de quemas controladas sobre algunas propiedades químicas del suelo (La Pampa). XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn (Chubut) Argentina. CD.
- Doran JW and Smith MS. 1987.** Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. En: Follett RF *et al.* (eds.). *Soil fertility and organic matter as*

- critical components of production systems. SSSA Special Publication 19. Am. Soc. Agronomy Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. p. 53-72
- Estelrich HD, Fernández B, Morici EF, Chirino CC. 2005.** Persistencia de los cambios provocados por los fuegos controlados en diferentes estructuras del bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burk). Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam. 16(1/2):23-30.
- García Oliva F, Sanford R, Kelly E. 1999.** Effects of flash and burn management on soil aggregate organic C and N in a tropical deciduous forest. *Geoderma* 88:1-12.
- Giardina CP, Sanford RL Jr. and Døckersmith IC. 2000.** Changes in soil phosphorus and nitrogen during slash and burn clearing of a dry tropical forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:399-405.
- González ME. 2002.** Fuegos no prescriptos: su efecto sobre la dinámica en el corto tiempo del CO, N y C/N en suelos de la provincia de Catamarca. Congreso Regional de Ciencia y Tecnología. NOA 2002. Secretaría de Ciencia y Técnica – Universidad Nacional de Catamarca. Agosto 2002.  
<http://www.editorial.unca.edu.ar/NOA2002/Fuegos%20No%20prescriptos.pdf>
- Green L. 1981.** Burning by prescription in chaparral. USDA Forest Service GTR PSW-51.
- Hernández MC y Martínez A. 2000.** Quemadas o incendios. Efectos sobre los recursos naturales. Dirección de Gestión Ambiental. *Cosmos* Año 4 / No 13.  
[http://www.corpochivor.gov.co/cosmos\\_0100eslrn.htm](http://www.corpochivor.gov.co/cosmos_0100eslrn.htm).
- Hernández T, García C and Reinhardt I. 1997.** Short-term effects of wild-fire on the chemical, biochemical and microbiological properties of mediterranean pine forest soils. *Biol. and Fertility of Soils.* 25: 19-116.
- Hepper EN, Urioste AM, Belmonte V, Buschiazzo D. 2008.** Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo*; 26 (1): 29-34.
- Holford ICR. 1997.** Soil P: its measurement, and its uptake by plants. *Aust. J. Soil Res.* 35, 227-239.
- Jacyszyn B y Pittaluga A. 1977.** Suelos del área de Chacharramendi, provincia de La Pampa. CIRN, Castelar. 42 p.
- Kettering QM, van Noordwijk M, Bigham JM. 2002.** Soil phosphorus availability after slash and burn fires of different intensities in rubber agroforests in Sumatra, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92:37-48.

- Knapp AK and Seastedt TR. 1986** Detritus accumulation limits productivity of tallgrass prairie. *Bioscience* 36:662- 668.
- Kunst C y Rodriguez N. 2003.** Fuego prescripto. En: Fuego en los ecosistemas argentinos. Edit. Kunst C, Cap. 18.199-217.
- Llorens EM y Frank EO. 1999.** Aspectos ecológicos del estrato herbáceo del caldenal y estrategias para su manejo. AACREA, Gob. de La Pampa, INTA Anguil (LP). 81 p.
- Nazar Anchorena JB. 1988.** Fuegos controlados en el manejo de los pastizales naturales. *Tecnicrea* N° 12 . 21-28
- Nazar Anchorena JB. 1990.** Fuegos controlados, parámetros para determinar la conveniencia del uso de fuegos controlados sobre las pasturas naturales. *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 5:129-127.
- Pazos MS y Mestelan S. 2000.** Cambios en las propiedades de los suelos en un pajonal de paja colorada (*Paspalum Quaddrifarium*) sometido a fuego prescripto. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Argentina. Abril 11-14. Com. IV, paper 46. CD-Rom.
- Peláez D. 1995.** Empleo y efecto del fuego en los pastizales. pp. 23- 32. Actas Jornadas de Cría en Campos de Monte. I.D.E.V.I. INTA. Cambio Rural.
- Quaglia G, Picone L, García F, Littera P. 1999.** Efecto de la quema de pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) de la Pampa Deprimida, sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, pp. 133. Pucón, Chile, nov. 8-12. CD.
- Raison RJ. 1979** Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: A review. *Plant soil* 51:73-108.
- Schlichting E, Blume KH, Stahr K. 1995.** *Bodenkundliches Praktikum.* Parey, Hamburg-Berlin.
- Sipowicz AH. 1994.** Ecología y manejo del fuego en el ecosistema del caldenal. Estación Experimental Anguil- INTA-Anguil, La Pampa, Argentina. Boletín de divulgación técnica N° 51. p. 16.
- Smith SM, Newman S, Garrett PB, Leeds JA. 2001.** Differential effects of surface and peat fire on soil constituents in a degraded wetland of the Northern Florida Everglades. *Journal of Environmental Quality* 30:1998-2005.
- The Nature Conservancy. 2004.** El Fuego, los Ecosistemas y la Gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación.  
<http://www.nature.org/initiatives/fire/science>

- Trollope WSW. 1991.** Fire behaviour and its significance in burning as a veld management practice. Prestige Farmers Day: Waterberg Plateaux National Park, Namibia . August, Grassland Society Southern Africa. 15 p.
- Trucco RA, Hepper EN, Urioste AM, Belmonte V, Buschiazzo DE. 2006.** Evolución de algunas propiedades químicas de suelos afectados por quemas controladas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta - Jujuy, Argentina. Trabajo completo publicado en C D. Actas p. 125.
- Wade D and Lunsford JD. 1988.** A guide for prescribed FIRE in southern forests. USDA Forerst Service, Sourthern Region R8-TP11.
- Walkley A and Black IA. 1934.** An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
- Weber M and Taylor S. 1992.** The use of prescribed FIRE in the management of Canda's forested lands. Forestry Chronicle 68: 324-334.
- Wright H and Bailey A. 1982.** Fire Ecology. United States and Southern Canada. John Wiley & Sons. New York, USA. 501 págs.