



**RALEO SELECTIVO MANUAL EN EL BOSQUE DE CALDÉN:  
EFECTO  
SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO.**

“Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo”

**Autor:** TOSELLI, Leonel Iván.

**Directora:** GALLACE, María Eugenia

Microbiología Agrícola

**Codirectora:** HEPPER, Estela Noemí

Introducción a la Química/Química General

**Evaluadores:** Larroulet, María Sofia- Introducción a la Química/Química General

Suárez, Carla Etel- Ecología Vegetal

FACULTAD DE AGRONOMÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa (La Pampa)- Argentina.2021

**ÍNDICE:**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>MATERIALES Y MÉTODOS:</b>	8
<b>Área de estudio y tratamientos</b>	8
<b>Análisis de datos</b>	13
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	14
<b>Respiración Edáfica (RE)</b>	14
<b>Carbono Orgánico Total (COT)</b>	16
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	18
<b>Relación entre COT y pH:</b>	19
<b>BIBLIOGRAFÍA:</b>	23
<b>ANEXO</b>	33

## **RESUMEN**

Las intervenciones que se realizan en el caldenal con el fin de disminuir la densidad de leñosas, controlar sus rebrotes y disminuir la cobertura de especies no forrajeras, podrían modificar algunas propiedades edáficas. En este estudio se evaluaron la dinámica estacional de la respiración microbiana, del contenido de carbono orgánico y del valor de pH del suelo en áreas intervenidas con raleo selectivo manual bajo la copa de las leñosas y en áreas abiertas. Los tratamientos estudiados fueron parcelas sin raleo en áreas bajo influencia de la copa de leñosas (C-SR), parcelas con raleo en áreas bajo influencia de la copa de leñosas (C-CR), parcelas sin raleo en áreas abiertas (A-SR) y parcelas con raleo en áreas abiertas (A-CR). En cada uno y para las cuatro fechas de muestreo, se tomaron 5 muestras compuestas de los primeros 2,5 cm del perfil. Se determinó: respiración edáfica, carbono orgánico total y pH. El raleo selectivo manual, no modificó la respiración microbiana, sin embargo, pudo observarse un efecto marcado estacional, debido principalmente a las condiciones ambientales de temperatura y humedad. Por efecto del raleo selectivo manual, disminuyó el contenido de carbono orgánico total y aumentó el pH, lo cual podría estar explicado por un menor ingreso de residuos provenientes del caldén y condiciones ambientales desfavorables para la descomposición de éstos. El raleo tampoco modificó el contenido de COT de las áreas abiertas, pero las pérdidas de carbono orgánico que se produjeron de los parches de vegetación más fértiles, influenciados por la canopia del caldén, aumentaron los valores de pH. El pH presentó menor dependencia del contenido de carbono orgánico total del suelo en invierno donde éste fue menor.

**PALABRAS CLAVE:** intervención manual, arbustización, propiedades edáficas, respiración edáfica.

## **ABSTRACT**

The interventions carried out on Caldenal in order to reduce trees' density, control their regrowth and the coverage of non-forage grasses, could modify some edaphic properties. In this study, the seasonal dynamics of microbial respiration, organic carbon content and soil pH value were evaluated in areas intervened with manual selective thinning under the tree canopy and in open areas. The treatments studied were plots without thinning in areas under the influence of the woody crown (C-SR), plots with thinning in areas under the influence of the woody crown (C-CR), plots without thinning in open areas (A-SR) and plots with thinning in open areas (A-CR). On the four sampling dates and in each intervention, 5 composite samples were taken from the first 2.5 cm of the profile. Edaphic respiration, total organic carbon (TOC) and pH were evaluated. Manual selective thinning did not modify microbial respiration, however a marked seasonal effect could be observed, mainly due to environmental conditions of temperature and humidity. As a result of manual selective thinning, the total organic carbon content decreased and the pH increased, as a consequence of a lower entry of waste from the calden and unfavourable environmental conditions for their decomposition. Thinning does not modify the TOC content of open areas, however, organic carbon losses occur from the more fertile vegetation patches, such as those influenced by the canopy of Caldens' tree, as a consequence of this the pH values increase. pH presented less dependence on the total organic carbon content of the soil in winter where it was lower.

**KEY WORDS: manual intervention, shrub, edaphic properties, edaphic respiration.**

## INTRODUCCIÓN

El bosque de Caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) se extiende en la región central semiárida templada de Argentina y cubre en la provincia de La Pampa 2 millones de hectáreas. Este bosque representa la porción más seca y austral del Espinal (SAyDS, 2004).

En la actualidad, el caldenal se presenta en distintos grados de conservación con una gran heterogeneidad estructural, debido principalmente a su historia de uso y manejo. El ganado doméstico y los incendios han contribuido al desarrollo de un estrato arbustivo en el que se ha vuelto relevante la presencia de renuevos de caldén y han llevado a la disminución o reemplazo de especies valiosas del pastizal por especies de menor valor forrajero (Llorens y Frank, 2003, Estelrich *et al.*, 2005; Medina *et al.*, 2000).

El bosque de caldén se puede caracterizar en general a partir de una estructura vertical conformada por tres estratos: el arbóreo, el arbustivo y el estrato gramíneo-herbáceo, en el cual la vegetación se presenta en parches de composición variable y que reflejan en gran medida su historia de uso (Morici *et al.*, 2009). El estrato arbóreo está representado por *Prosopis caldenia* Burkart, acompañado por *Prosopis flexuosa*, *Geoffroea decorticans* y *Jodina rhombifolia*. El estrato arbustivo está representado por especies como *Condalia microphylla*, *Schinus fasciculatus*, *Lycium gilliesianum* y *Aloysia gratissima*. En cuanto al estrato gramíneo-herbáceo, pueden presentar especies de porte bajo, generalmente con buen valor forrajero como *Poa ligularis* Nees ex Steud., *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack., *Nassella tenuis* (Phil.) Barkworth, entre otras y especies de altura intermedia de poco o nulo valor forrajero como *Nassella tenuissima* (Trin.) Barkworth, *Nassella trichotoma*, *Jarava ichu* Ruiz y Pav., *Amelichloa brachychaeta* (Godr.) Arriaga y Barkworth (Llorens y Frank, 1999, Morici *et al.*, 2009).

El proceso de lignificación desencadenado en estos sistemas ha hecho que sus fisonomías

prístinas hayan sido reemplazadas en gran medida por fisonomías mucho más cerradas denominadas “fachinales” (Lerner, 2004, SAyDS, 2006) con importantes consecuencias a nivel ecosistémico.

En general, el aumento de la densidad y cobertura de especies leñosas además de aumentar la heterogeneidad espacial en las comunidades de pastizales naturales puede cambiar los patrones y la escala en que se distribuyen los recursos en el suelo. Los espacios libres entre leñosas tienen menor aporte de materia orgánica, mayor temperatura y evapotranspiración. Debajo de la canopia se observan mayores aportes de materia orgánica, acumulación de agua y de nutrientes (Estelrich *et al.*, 2005) y mayores tasas de descomposición de la broza debido a mayor actividad de la micro y meso fauna del suelo (Belsky *et al.*, 1989 y 1993). Esto trae aparejado mayores concentraciones de nutrientes en esos sitios en comparación con los espacios abiertos entre leñosas (Bhark y Small, 2003; Belsky *et al.*, 1989; Buschiazzo *et al.*, 2004; Hepper *et al.*, 2013; Ludwig *et al.*, 2004; Holdo, Mack y Arnold, 2012; Urive Echavarría, 2014; Weltzin y Coughenhour, 1990). La presencia de leñosas, también contribuye a redistribuir los nutrientes y el agua en el perfil del suelo (Schulze *et al.*, 1998; Ludwig *et al.*, 2003), lo que aumenta las concentraciones de nutrientes en las plantas y mejora la calidad del forraje (Cruz *et al.*, 1999; Belsky, 1992; y Jacson y Ash, 1998). Por otra parte, la canopia de las leñosas puede interceptar parte del agua de lluvia; por lo tanto, una fracción sustancial de esa agua puede perderse por evaporación antes de alcanzar la superficie del suelo, en especial durante los pequeños eventos de precipitación (Alvarez Redondo, 2015; Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1999). También se ha observado que en general, debajo de las especies leñosas la densidad aparente del suelo es menor que en los espacios abiertos. Esto contribuye al aumento de la calidad física del suelo en relación con los espacios entre leñosas (Hepper *et al.*, 2013; Jackson *et al.*, 1990; Frost y Edinger, 1991; Dahlgren *et al.*, 2003).

Así mismo, la presencia o ausencia de especies leñosas en los pastizales provoca diferencias en la radiación incidente, en la efectividad de las precipitaciones (Alvarez Redondo 2015) y en la cantidad y calidad de la deposición de la broza tanto por encima como por debajo de la superficie del suelo (Belsky *et al.*, 1989; Buschiazio *et al.*, 2004; Lopez-Pintor *et al.*, 2006; Holdo *et al.*, 2014; Tiedemann y Klemmedson 1986). Es evidente que esta heterogeneidad espacial en el medio abiótico y biótico puede también afectar a otras especies del pastizal que se encuentran a su alrededor (Scholes y Archer, 1997), como, por ejemplo, las especies forrajeras y su calidad. Como consecuencia se verá afectada la capacidad de carga del sistema ganadero y la producción de estos. También se ha observado una relación inversa entre la presencia de especies forrajeras y la cobertura de leñosas, con situaciones extremas donde la cantidad de árboles afecta negativamente a las especies no forrajeras (Estelrich *et al.*, 2005).

El desafío que se presenta entonces al rehabilitar y recuperar estas áreas es lograr una disminución de la cobertura de leñosas; mejorar la accesibilidad del sistema; disminuir la biomasa combustible (para evitar incendios devastadores); mejorar la calidad del estrato gramíneo herbáceo (disminuyendo la cobertura de “pajas”) y todo esto manteniendo y/o mejorando las propiedades edáficas. Entre las técnicas empleadas para la rehabilitación se encuentran las quemas prescritas, el raleo selectivo y el rolado selectivo de baja intensidad (Adema *et al.*, 2003; Bóo, 1990; Castelli y Lazzari, 2002; Estelrich *et al.*, 2005 Fernández *et al.*, 2001; Hepper *et al.*, 2006; Kunst, 2008; Llorens y Frank, 2003; Peláez *et al.*, 2001; Prieto y Ves Losada, 2006; Trucco *et al.*, 2006).

El presente trabajo aborda el estudio del efecto del raleo selectivo manual de leñosas sobre algunas propiedades del suelo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto del raleo selectivo manual sobre algunas propiedades edáficas de un suelo del caldenal pampeano.

### **Objetivos Específicos:**

- Evaluar la dinámica estacional de la respiración microbiana de un suelo de un renoval fachinal con y sin raleo selectivo.
- Evaluar el efecto del raleo selectivo manual sobre el contenido de carbono orgánico y el valor de pH, en las diferentes estaciones del año.
- Analizar la relación existente entre el contenido de carbono orgánico total y el valor de pH en las diferentes estaciones del año y tratamientos.

## **HIPÓTESIS:**

- A. Los cambios en la temperatura y la humedad del suelo en función de las estaciones, condicionan la actividad microbiana.
  - a. Predicción: las estaciones donde hay mayor humedad por precipitaciones y las temperaturas son más elevadas, la actividad microbiana va a aumentar.
- B. El raleo selectivo manual favorece la respiración microbiana del sistema.
  - b. Predicción: la respiración microbiana aumenta en áreas raleadas bajo la influencia del caldén.

- C. El raleo selectivo manual, debido al menor ingreso de residuos provenientes de la canopia del caldén y a condiciones ambientales menos favorables para su descomposición, modifica el contenido de carbono orgánico total y el valor del pH. También podría cambiar la relación carbono orgánico/pH.
- c. Predicción: El clareo del sistema disminuye el contenido de C y aumenta el pH.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Área de estudio y tratamientos***

El caldenal es un sistema ecológico que se encuentra en la porción más austral de la Provincia Fitogeográfica del Espinal. Esta región ocupa una superficie de 169333 km<sup>2</sup> equivalente al 55% de la superficie total de la región del Espinal (307374 km<sup>2</sup>) (Cabrera, 1976). En la provincia de La Pampa el bosque de caldén se ubica entre las isohietas de 350 y 580 mm, habitando fundamentalmente en las depresiones y valles transversales, en suelo franco arenoso fino profundo. Está orientado en el Norte de la provincia de SO a NE y en el Sur se agrupan en forma de abanico orientados de E a SO (Cano et al., 1980). La temperatura media del mes más frío (julio) es 7,3 °C y del mes más cálido (enero) 23 °C con temperaturas extremas (44 °C Máx. absoluta y -16 °C Mín. absoluta). El período medio libre de heladas es aproximadamente de 200 días (Casagrande y Conti, 1980).

El sitio de muestreo está ubicado en el establecimiento Bajo Verde, Facultad de Agronomía de la UNLPam ubicado en el Departamento Toay, provincia de La Pampa, Argentina, a 36°29' Lat. S. y 64°35' Long O (Figura 1b), unos 40 km desde dicha institución. El suelo de este sitio fue clasificado como Haplustol Entico y texturalmente como franco-arenoso (Hepper *et al.*, 2013).

### ***Descripción de los tratamientos previos realizados en el área de estudio***

El presente trabajo forma parte de un proyecto integral desarrollado en el Establecimiento Bajo Verde, unidad experimental de producción con fines académicos y científicos administrada desde el año 1996 por la Facultad de Agronomía de la UNLPam (Fernández, 2019). Entre los objetivos de dicho proyecto se encuentran evaluar el efecto de la quema, el raleo selectivo, el rolado y sus combinaciones, sobre diferentes atributos del sistema con el fin de plantear alternativas de manejo para las leñosas, mejorar la calidad del pastizal y de la estructura del bosque, disminuir la biomasa combustible, y comprender su efecto sobre aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo (POIRE 2015<sup>1</sup>). De esta manera, la primera intervención mecánica fue un rolado selectivo (Figura 1), en el mes de noviembre de 2013 en un área del establecimiento dominada por un renoval-fachinal de *Prosopis caldenia* Burkart con pajonal denso. Luego se realizó una quema controlada (abril 2015). De esta manera, se obtuvieron cuatro tratamientos primarios que reflejaron situaciones de fachinal con una historia de manejo diferente: sin intervenir (T), rolado (R), rolado + quemado (RQ) y quemado (Q) (Figura 1). Por último, en noviembre de 2017 se realizó una intervención secundaria de raleo selectivo de leñosas en los tratamientos primarios.

---

<sup>1</sup> Proyecto Orientado de Investigación Regional (POIRE), convocatoria 2013, UNLPam (Res. 343/13 CS). “El Rolado Selectivo y la Quema Controlada como Herramientas para Intervenir Fachinales y su Efecto Sobre las Propiedades del Suelo y el Banco de Semillas”. Director: Héctor Daniel Estelrich.

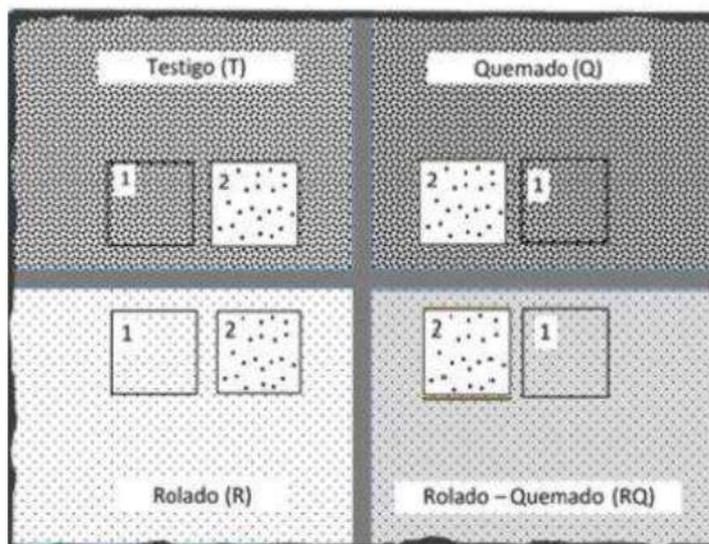


Figura 1. Esquema del diseño para los tratamientos primarios: T, R, Q, RQ; y de la aplicación del secundario (números 1 sin raleo, número 2 con raleo).

### ***Tratamientos evaluados en el presente trabajo***

Para el caso bajo estudio, se trabajó solo en el tratamiento primario testigo (No quemado, No rolado), sobre un área de renoval-fachinal denso de *P. caldenia* con una cobertura de más de un 60% de leñosas en el estrato intermedio de 1 a 3 m. El raleo se realizó cortando las leñosas al ras del piso con motosierra hasta alcanzar una densidad de unos 30 individuos/ha (un 15% de cobertura, aproximadamente). Además, para evaluar el efecto de la influencia de la leñosa sobre las propiedades del suelo se consideraron áreas abiertas, con predominio de especies gramíneas herbáceas forrajeras (*Piptochaetium napostaense*, *Poa ligularis*), y áreas bajo la influencia de la canopia con una cobertura mayor al 60% (conformada principalmente por renuevos de caldén) con predominio de vegetación gramínea herbácea no forrajera (*Nasella tenuissima*, *Jarava ichu* y *N. trichotoma*).

De esta manera quedaron establecidos 4 tratamientos (Figura 2):

1. Parcela sin raleo bajo áreas de influencia de la copa de leñosas (C-SR).
2. Parcela sin raleo bajo áreas abiertas (A-SR).
3. Parcela con raleo bajo áreas de influencia de la copa de leñosas (C-CR).
4. Parcela con raleo bajo áreas abiertas (A-CR).



Figura 2. Esquema del diseño el trabajo bajo estudio, sobre tratamiento primario testigo, y secundarios con raleo (1) y sin raleo (2) bajo influencia de copa de leñosas (Copa) o en áreas abiertas (Abierto).

### ***Muestreo y determinaciones de laboratorio***

En cada fecha de muestreo y en cada tratamiento, se tomaron 5 muestras compuestas de los primeros 2,5 cm del perfil (cada una formada por 3 submuestras) (figura 3).

Las estaciones y fechas de muestreos fueron:

- Muestreo de Verano: 26 de febrero de 2019
- Muestreo de Otoño: 3 de junio de 2019
- Muestreo de Invierno: 26 de septiembre de 2019
- Muestreo de Primavera: 28 de Octubre de 2019



Figura 3. Toma de muestras a 2,5 cm de profundidad en el tratamiento abierto sin raleo en primavera.

Las muestras se tamizaron por 2 mm y se realizaron las determinaciones de laboratorio que se detallan a continuación:

- Humedad edáfica por gravimetría.
- Respiración edáfica (Frioni, 1999) (figura 4).
- pH en agua (relación 1:2,5) por potenciometría.
- Carbono orgánico total (COT) por el método de oxidación húmeda (Walkley y Black, 1934).



Figura 4: Determinación de respiración edáfica, titulación de NaOH con HCL.

### *Análisis de datos*

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño factorial doble, en el cual el factor intervención tuvo 4 niveles: C-SR, A-SR (testigos del raleo), C- CR y A-CR, mientras que el factor estación del año tuvo 4 niveles: otoño, invierno, primavera y verano.

Los datos obtenidos se analizaron mediante ANOVA. Las comparaciones entre medias de tratamientos se realizaron a través de la prueba LSD de Fisher (Kuehl, 2001). Para determinar la relación entre las variables COT y pH se utilizó análisis de regresión lineal simple. Para estos análisis se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Respiración Edáfica (RE)

La RE realizada por la microflora y microfauna del suelo, no presentó interacción entre los factores tratamientos y estaciones del año. Además, no se hallaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos ( $p > 0,05$ ). Por otra parte, si hubo diferencias significativas entre las estaciones del año y respiración edáfica ( $p < 0,001$ ), donde los mayores valores se presentaron en verano y otoño con un valor promedio de 46,41 mg C-CO<sub>2</sub>/ 100 g suelo y 52,10 mg C-CO<sub>2</sub>/ 100 g suelo respectivamente (Fig. 5) (Los análisis estadísticos se presentan en Anexo).

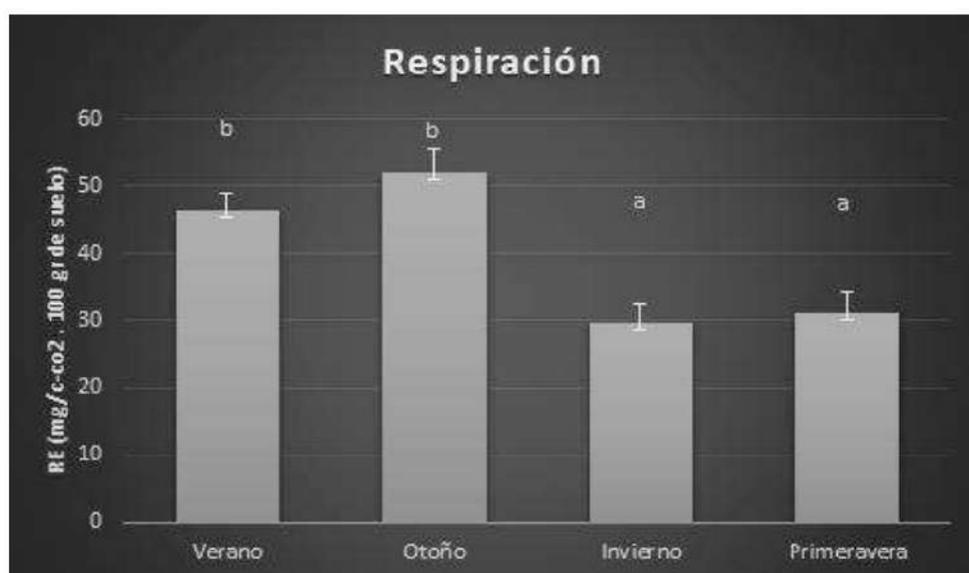


Figura 5: Respiración edáfica en las diferentes estaciones del año. Diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas entre épocas de muestreo ( $p$ -valor menor a 0.001).

La RE es influenciada por factores bióticos y abióticos, tales como la temperatura, el contenido hídrico del suelo, la cantidad y calidad de nutrientes, la estructura de la vegetación, la actividad fotosintética y el desarrollo fenológico de las plantas (Singh y Gupta, 1977; Subke *et al.*, 2006). Al respecto, las temperaturas medias mensuales para el área de estudio en la época de los relevamientos, alcanzaron los máximos valores en el verano (diciembre 23,3°C, enero 22,3°C,

febrero 21,2°C, marzo 17,1°C), y, si bien luego en otoño fueron bajando, la gran amplitud térmica (marzo 34,7 °C, abril 35,9°, Mayo 29,9 °C, junio 26,2 °C) podría haber tenido un efecto residual sobre la actividad global del suelo que se mantuvo alta. Sumado a ello, las precipitaciones ocurridas en ese año (464,9mm) también se concentraron en verano y otoño, estaciones en las que llovió el 92% del total (Figura 6).

Claramente el impacto de mayor temperatura (medias mensuales óptimas para el desarrollo de microorganismos mesófilos) y la presencia de agua en el perfil del suelo aumenta considerablemente la respiración microbiana, traduciéndose en mayor actividad microbiana, donde se desarrollan procesos de descomposición y mineralización, como así también de humificación (Belsky *et al.*, 1989 y 1993). Raich y Schlesinger (1992), reportaron que las tasas anuales de RE están correlacionadas positivamente con las medias anuales de la temperatura del aire y la precipitación.

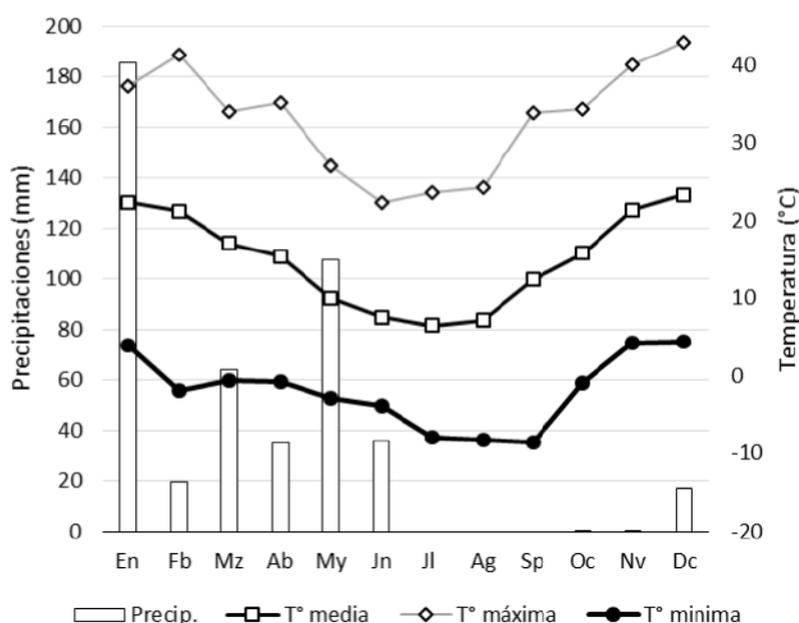


Figura 6: Distribución promedio de las precipitaciones y temperaturas para el año 2019 (datos provenientes de la Estación Meteorológica Bajo Verde)

### Carbono Orgánico Total (COT)

En cuanto al contenido de carbono orgánico total presentó interacción significativa entre tratamientos y estaciones del año ( $p < 0,05$ ), lo que indica un efecto diferencial del raleo según la estación del año (Tabla 1) (los análisis estadísticos se presentan en el Anexo). En la figura 7 se presentan los contenidos de COT y las diferencias encontradas entre intervenciones dentro de una misma estación del año. El COT fue mayor significativamente para C-SR en verano, otoño y primavera (5,52, 4,38 y 3,57%, respectivamente) mientras que en invierno no presentó diferencias con los restantes tratamientos. En general, en todos los demás, no hubo diferencias para cada época del año. Cabe destacar, que los tratamientos sin raleo y en áreas abiertas, sin la influencia de la canopia, presentaron los menores valores, si bien estadísticamente no hubo diferencias.

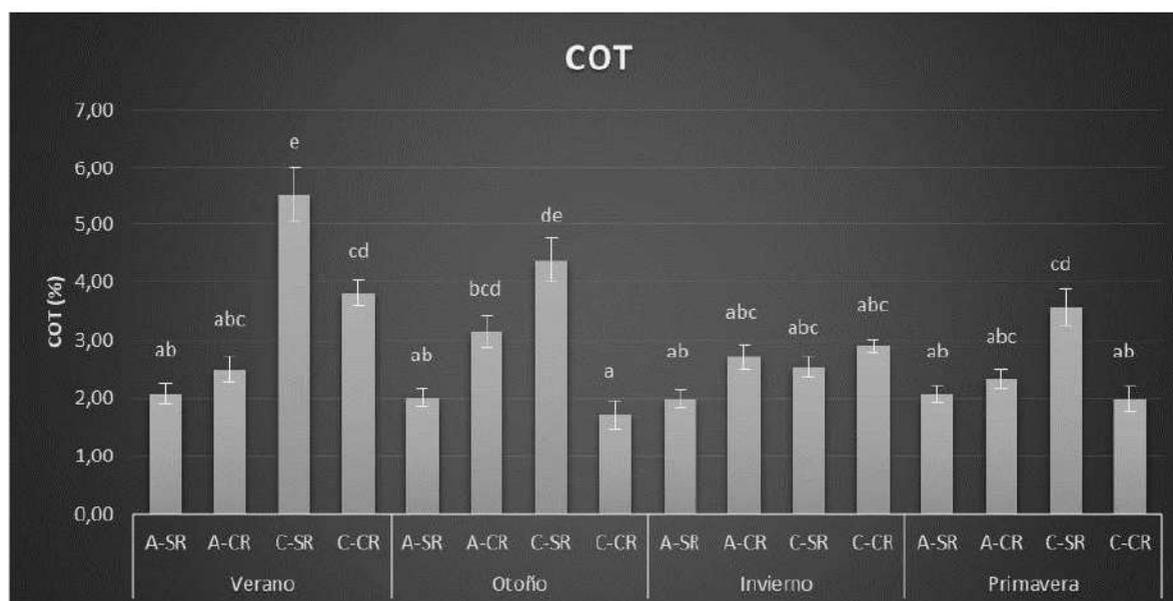


Figura 7: Contenido de carbono orgánico total en las diferentes estaciones del año y tratamientos. A-SR (Abierto sin raleo), A-CR (Abierto con Raleo), C-SR (Copa sin raleo) y C-CR (Copa con raleo). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas estaciones y tratamientos ( $p < 0,05$ ).

El mayor contenido de COT durante el período primavero-estivo-otoñal en áreas sin raleo y bajo la influencia de la canopia (C-SR) estaría favorecido por los mayores aportes al suelo de residuos vegetales desde los estratos superiores de vegetación (caldén+pastizal), y las mejores condiciones de humedad y temperatura para la descomposición de la biomasa y su incorporación como materia orgánica (Estelrich *et al.*, 2005a; Bhark y Small, 2003; Buschiazzo *et al.*, 2004; Prescott, 2002; Schulze *et al.*, 1998; Ludwig *et al.*, 2003). Por otra parte, los egresos/pérdidas a nivel del sistema (por erosión de capa superficial o extracción por el ganado) (Wischmeier y Smith, 1978; Llorens y Frank, 2003; Morici *et al.*, 2009) serían relativamente menores debido a la alta cobertura de broza que disminuye los riesgos de erosión y a la baja calidad de vegetación graminosa-herbácea bajo caldén (predominantemente no forrajera), que no sería consumida por los bovinos (Morici *et al.*, 2009a).

Por otra parte, los valores más bajos de COT en las áreas abiertas (con y sin raleo) y en verano podría deberse a la importancia que adquieren los egresos por erosión y pastoreo en esos tratamientos (Adema *et al.*, 2003), y a los aportes ligeramente menores de residuos vegetales por cambios en la composición específica del estrato graminoso-herbáceo. (Estelrich *et al.*, 2005, Uribe Echavarría, 2014).

En las áreas abiertas (A-SR y A-CR) no hubo diferencias significativas entre estaciones del año, mientras que se encontró que los suelos bajo caldén presentan diferencias en el contenido de COT, siendo mayor en verano y menor en invierno para C-SR y en otoño para C-CR.

En general, se puede observar que el efecto diferencial en el contenido de COT en las distintas estaciones del año se produce en parcelas sin raleo y con raleo bajo influencia de la copa leñosa. Este efecto se debe principalmente a las condiciones edafo-climáticas que generan microclimas bajo el dosel de los árboles (Estelrich *et al.*, 2005; Bhark y Small, 2003; Buschiazzo *et al.*, 2004;

Belsky *et al.*, 1994; Callaway, 1995; Scholes y Archer, 1997), como también a los mayores aportes de broza.

### Potencial de Hidrógeno (pH)

Los valores de pH presentaron interacción significativa entre tratamientos y estaciones del año ( $p < 0,05$ ), (los análisis estadísticos se presentan en el Anexo). En la figura 8 se presentan los valores medios de pH y las diferencias encontradas entre tratamientos para cada época del año, donde los mayores valores de pH se presentaron en A-SR y A-CR. El tratamiento C-SR presentó los menores valores de pH en verano, otoño, y primavera, mientras que en invierno no presentó diferencias significativas con respecto a los restantes. En general, en cada estación del año no hubo diferencias de pH entre los otros tratamientos.

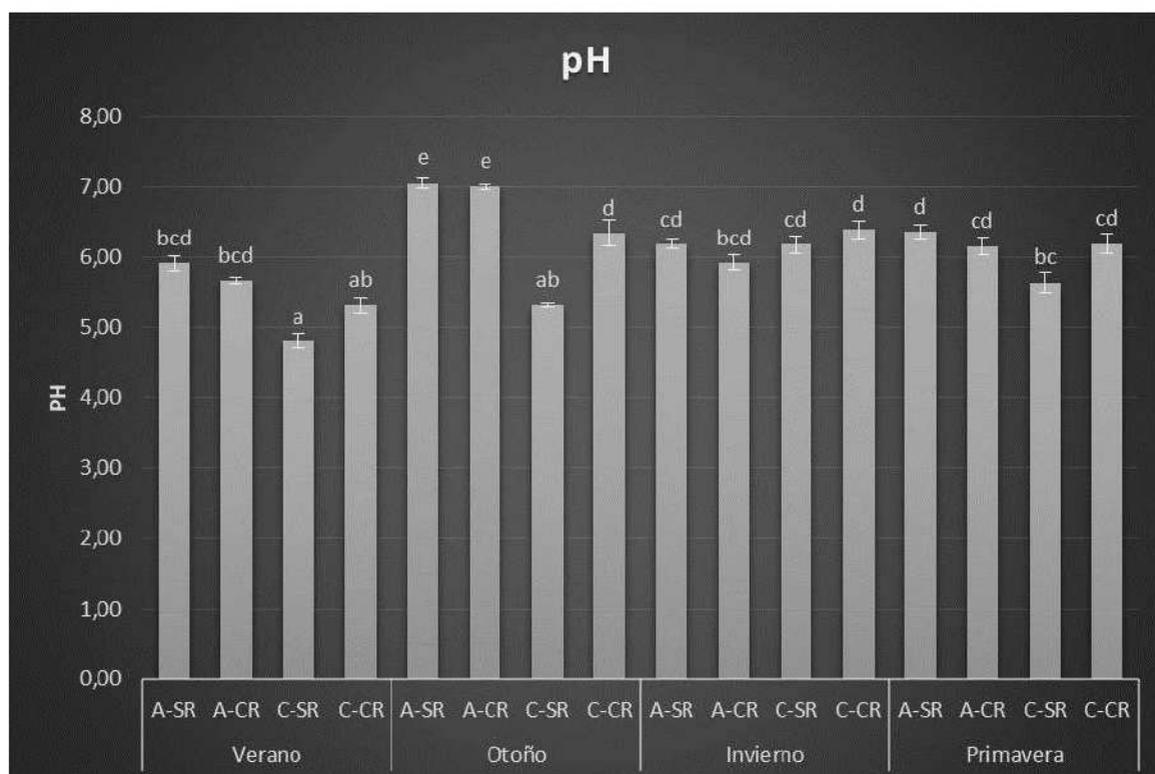


Figura 8: pH en las diferentes estaciones del año y tratamientos en el Bosque del caldén: A-SR (Abierto sin raleo), A-CR (Abierto con Raleo), C-SR (Copa sin raleo) y C-CR (Copa con raleo). Letras diferentes dentro de una misma estación significan diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos.

Los valores más bajos de pH en C-SR en verano, otoño y primavera, están vinculados a los mismos factores que explican el mayor contenido de COT. La materia orgánica del suelo afecta al pH debido a los diversos grupos activos que aportan acidez (Martinez, *et al.*, 2008), es así que, a mayor contenido de COT, menor valor de pH.

En áreas abiertas (A-SR y A-CR) el valor de pH fue significativamente mayor en otoño (7 y 7,05 respectivamente) que en las demás estaciones del año. Por otra parte, en los suelos con influencia de la copa de leñosas (C-SR y C-CR) el pH fue diferente en verano y otoño, respecto de invierno y primavera, asociado a los mayores aportes de broza, materia orgánica y humedad del suelo. (Estelrich *et al.*, 2005; Bhark y Small, 2003; Buschiazzo *et al.*, 2004; Belsky *et al.*, 1994; Callaway, 1995; Scholes y Archer, 1997).

### **Relación entre COT y pH**

La regresión lineal entre COT y pH en otoño, verano y primavera (Figura 9) fue significativa. En invierno, no se encontró relación lineal inversa de estas propiedades, en contraposición con lo presentado por otros autores (Aguilera, 2000; Carrasco, 1992) y se pudo observar que la mayor dispersión de los datos se presentó entre los tratamientos raleados con y sin influencia de la canopia (A-CR y C-CR).

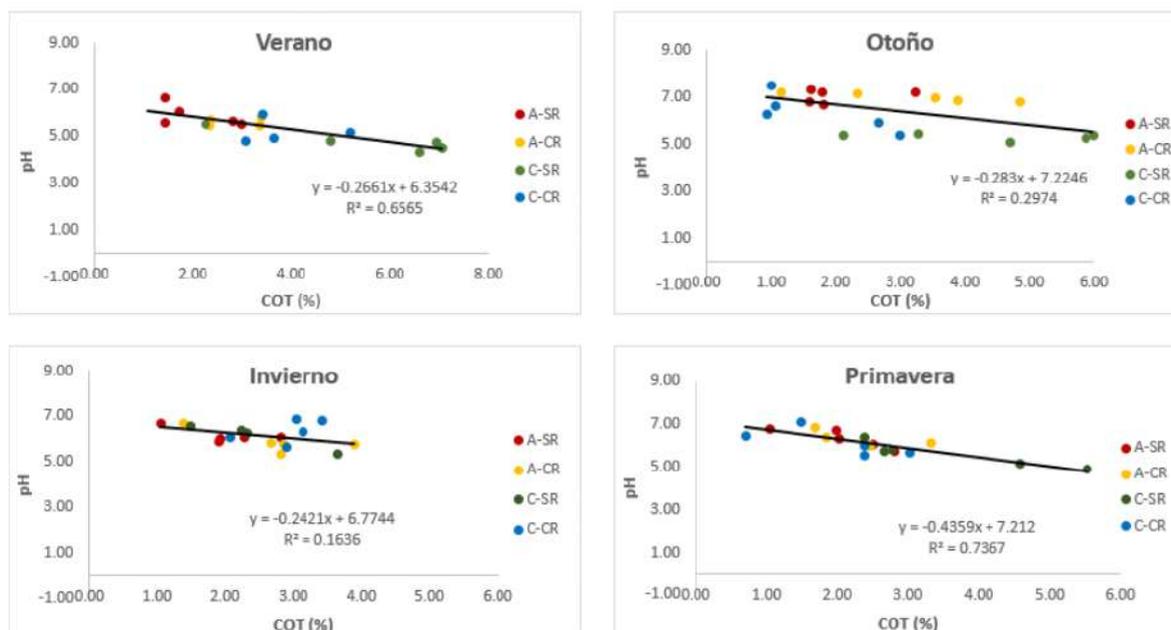


Figura 9: Relación entre pH y contenido de COT en las diferentes estaciones diferenciando las intervenciones

La menor relación en otoño estaría dada por las intervenciones C-SR y C-CR. En la primera la relación entre el contenido de COT y el pH prácticamente no se modifica, mientras para el suelo bajo copa y con raleo es mayor la dispersión de los datos (Figura 9). Estos resultados indican que cuando los contenidos de COT son altos (bajo la influencia de la canopia y en verano, otoño y primavera), el pH del suelo está condicionado por el contenido de materia orgánica.

Jobbágy y Jackson (2003) proponen tres mecanismos de acidificación de los suelos: 1) aportes de ácidos orgánicos, 2) respiración del suelo y 3) secuestro y redistribución de cationes. En el primer mecanismo, los ácidos orgánicos producidos por las plantas son el agente acidificante. A diferencia de las gramíneas, muchos árboles aportan residuos ácidos, que proceden de lixiviados del dosel y productos de descomposición. Esta entrada de ácidos, generalmente insignificante bajo la vegetación de pastizales, podría causar lixiviación de cationes y una disminución del pH del suelo después del establecimiento del árbol (Ugolini *et al.*, 1988). Esto concuerda con los resultados encontrados en este estudio, donde los tratamientos asociados a la influencia de la leñosa (ya sea por ser áreas bajo su canopia y/o sin raleo selectivo) presentaron

los mayores niveles de COT, y los menores valores de pH. El segundo mecanismo de acidificación del suelo, son los aportes de dióxido de carbono provenientes de la respiración del suelo. El ácido carbónico es un importante agente de meteorización en suelos (Richter y Markewitz, 1995), y una mayor producción de ácido carbónico se ha relacionado con una mayor lixiviación de cationes en los bosques (Andrews y Schlesinger, 2001). Para acidificar los suelos de los bosques mediante este mecanismo, estos deben tener una mayor respiración de las raíces y / o microbiana en comparación con los pastizales. Contrariamente, revisiones recientes sugieren que las tasas de respiración del suelo tienden a ser más bajas en los bosques (Raich y Tufekcioglu 2000; Tate *et al.*, 2000; Saviozzi *et al.*, 2001). En el caso bajo estudio del raleo selectivo manual en el bosque de caldén, no hubo una relación estadísticamente significativa para avalar este segundo mecanismo de acidificación donde la respiración microbiana sea agente de acidificación de los suelos del bosque de caldén.

Si bien en este trabajo no se determinaron cationes, cabe mencionar el tercer mecanismo propuesto, el secuestro y la redistribución de cationes dentro del ecosistema después del establecimiento del árbol. Los árboles pueden almacenar más cationes que aniones tanto en la biomasa como en el suelo orgánico (hojarasca + suelo orgánico). Esta diferencia de carga debe, a su vez, compensarse con una ganancia neta de protones en el suelo (Nilsson *et al.*, 1982). Incluso cuando los bosques se acercan a un estado estable de ganancia y pérdida de cationes, los cationes del suelo pueden redistribuirse dentro del suelo como resultado de la intensificación del ciclado por los árboles, lo que lleva a una acidificación localizada en algunas capas (Jobbágy y Jackson 2001).

En este trabajo la acidificación podría deberse entre otras cosas a los aportes de material orgánico al suelo.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

El raleo selectivo manual sobre el renoval-fachinal no modificó la respiración microbiana. Por otra parte, pudo observarse un efecto estacional sobre esta propiedad que puede asociarse a las condiciones ambientales de temperatura y humedad encontradas. Los meses más cálidos y húmedos presentaron los mayores valores de respiración edáfica.

El menor ingreso de residuos provenientes del caldén y el desarrollo de un microambiente menos favorable para su descomposición en suelos de áreas raleadas bajo la influencia de la canopia contribuyeron a una disminución del contenido de carbono orgánico total y un aumento en el pH. Ambas variables presentaron una alta relación inversa en otoño, verano y primavera. No hubo modificaciones en el contenido de carbono orgánico total en áreas abiertas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adema, E.O., Buschiazzo, D.E., Babinec, F.J., Rucci, T. y Gómez Hermida, V.J. (2003). Balance de agua y productividad de un pastizal rolado en Chacharramendi, La Pampa. Publicación Técnica N° 50, EEA Anguil “Ing. Agr Guillermo Covas”, INTA. 20 p.
- Adema, E. O., Babinec, F. J., Buschiazzo, D. E. M., Martín J. y Peinemann N. (2003). Erosión Hídrica en suelos del Caldenal. Publicación Técnica N° 53, EEA Anguil “Ing. Agr Guillermo Covas”, INTA. 35 p.
- Aguilera, S.M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.
- Álvarez Redondo, M. (2015). Efecto del dosel de los arbustos sobre la intercepción de lluvia en la región semiárida central de Argentina. Tesis para obtener el grado de MSc, Maestría en Recursos Hídricos, UNLPam. 120 p.
- Andrews, J. A., and W. H. Schlesinger. 2001. Soil CO<sub>2</sub> dynamics in a temperate forest with experimental CO<sub>2</sub> enrichment. *Global Biogeochemical Cycles*
- Ansley, R. J. y Castellano, M. J. (2006). Strategies for savanna restoration in the southern Great Plains: effects of fire and herbicides. *Restoration Ecology*, 14(3), 420-428.
- Archer, S. (1994). Woody plant encroachment into southwestern grassland savannas: Rates, patterns and proximate causes: En: *Ecological Implications of Livestock Herbivory in the West* (Eds. Vavra, M., Laycock, W.A. and Pieper, R.D.). Society of Range Management, Denver. Pp 13-68.
- Archer, S. R., Davies, K. W., Fulbright, T. E., McDaniel, K. C., Wilcox, B. P. y Predick, K. I. (2011). Brush management as a rangeland conservation strategy: a critical evaluation. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service,

- Washington, DC. Pp. 105-170.
- Atanasio, M.A. (2014). Influencia de raleos selectivos sobre el crecimiento de *Prosopis alba*.  
Disponible:[https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_influencia\\_de\\_raleos\\_selectivos\\_sobre\\_el\\_creci.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_influencia_de_raleos_selectivos_sobre_el_creci.pdf)
- Belsky, A.J. (1986) Does herbivory benefit plants? Review of the evidence. *The American Naturalist*, 128(5): 765-770.
- Belsky, A. J., Amundson, R. G., Duxbury, J. M., Riha, S. J., Ali, A. R., y Mwonga, S. M. (1989). The effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of applied ecology*, 1005-1024.
- Belsky, A. J., Mwonga, S. M., Amundson, R. G., Duxbury, J. M., y Ali, A. R. (1993). Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high-and low-rainfall savannas. *Journal of Applied Ecology*, 143-155.
- Bhark, E. W., y Small, E. E. (2003). Association between plant canopies and the spatial patterns of infiltration in shrubland and grassland of the Chihuahuan Desert, New Mexico. *Ecosystems*, 6(2), 0185-0196.
- Blazquez, F. (2017). Influencia de las especies leñosas sobre la productividad, la calidad y el crecimiento aéreo de gramíneas perennes nativas del sur del caldenal. Tesis presentada para obtener el grado de doctor en agronomía. UNS. 98 p
- Bóo R.M. 1990. Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego. *Revista de la Facultad de Agronomía. UNLPam.* 5: 63-80.
- Buschiazzo, D.E., Esterlich, H.D., Aimar, S.B., y Babinec, F.J. (2004). Soil texture and tree coverage influence on organic matter. *Journal of Range Management.*, 57: 511-516.
- Callaway, R. M. (1995). Positive interactions among plants. *The Botanical Review*, 61(4), 306-349.

- Carrasco, M.A. (1992). El suelo como sistema químico. En: Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 345 p.
- Castelli L. & M.A. Lazzari, 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.
- Cruz, P. (1997). Effect of shade on the growth and mineral nutrition of a C4 perennial grass under field conditions. *Plant and soil*, 188(2), 227-237.
- Dahlgren, R., Horwath, W., Tate, K. W., y Camping, T. (2003). Blue oak enhance soil quality in California oak woodlands. *California Agriculture*, 57(2), 42-47.
- Delvalle, P. (2006). Raleos selectivos en forestación joven de algarrobo blanco *Prosopis alba*. II Jornadas Forestales en Santiago del Estero. 6 p.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, AND C. W. Robledo. InfoStat versión. 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Estelrich, H.D., Chirino, C.C., Morici, E.F. y Fernandez, B. (2005<sup>a</sup>). Dinámica de áreas naturales cubiertas por bosque y pastizal en la región semiárida central de Argentina - Modelo Conceptual. En: Heterogeneidad de la Vegetación. Libro homenaje a Rolando Leon (Eds: Paruelo J., Oesterheld, M., y Aguiar, M..).
- Estelrich, H.D., Fernández, B., Morici, E.F. y Chirino, C.C. (2005<sup>b</sup>). Persistencia de los cambios provocados por los fuegos controlados en diferentes estructuras del bosque de caldén (*Prosopis caldénia* Burkart). *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*. 16(1/2):23-30.
- Fernández B., E. Morici, H. Esterlich & C. Chirino 2001. Efecto de la quema controlada sobre

- la estructura de la comunidad y el banco de semillas de especies gramíneas en el bosque de caldén. Actas 1º Congr. Nac. Sobre Manejo de Pastizales Naturales. San Cristóbal. Santa Fe. Pp. 65-66.
- Fernández, G. (2019). Capítulo 9. Campos de enseñanza y producción. Campo de enseñanza. En S. Bongianino et al. (A. M. Urioste, comp.). Facultad de Agronomía, UNLPam 60 años de construcción colectiva 1958-2018 (pp. 205-212). 1º edición especial - Santa Rosa: Universidad Nacional de La Pampa. 180 p.
- Frioni, L. 1999. Procesos microbianos. Ed. de la Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 322 pp.
- Frost, W. E., y Edinger, S. B. (1991). Effects of tree canopies on soil characteristics of annual rangeland. *Journal of Range Management*, 286-288.
- Grover, H. D. y Musick, H. B. (1990). Shrubland encroachment in southern New Mexico, USA: an analysis of desertification processes in the American Southwest. *Climatic Change*, 17(2-3), 305-330.
- Hepper, E.N., Buschiazzo, D.E., Hevia, G.G., A.M. Urioste, A.M. y Antón, L.E. (2006). Clay mineralogy, cations exchange capacity and specific surface area of loess soils with different volcanic ash contents. *Geoderma*, 135:216-223.
- Hepper, E.N., Larroulet, M.S., Belmonte, V. y Urioste, A.M. (2013). Propiedades edáficas de un suelo del caldenal pampeano en parches con diferente vegetación. *Revista Semiárida* 23(2): 5-15.
- Holdo, R. M., Mack, M. C., y Arnold, S. G. (2012). Tree canopies explain fire effects on soil nitrogen, phosphorus and carbon in a savanna ecosystem. *Journal of Vegetation Science*, 23(2), 352-360.
- Holdo, R. M., y Mack, M. C. (2014). Functional attributes of savanna soils: contrasting effects

- of tree canopies and herbivores on bulk density, nutrients and moisture dynamics. *Journal of Ecology*, 102(5), 1171-1182.
- Jackson, J., y Ash, A. J. (1998). Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of northeastern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. *Agroforestry systems*, 40(2), 159-176.
- Jackson, L. E., Strauss, R. B., Firestone, M. K., y Bartolome, J. W. (1990). Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 32(1), 89-105.
- Jobbagy EG, Jackson RB. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* 53: 51–77.
- Jobbagy E. G. and R.B. Jackson. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. *Biogeochemistry* 64: 205- 229.
- Kunst, C., Ledesma, R. y M. Navall. (2008). RBI: Rolado Selectivo de Baja Intensidad. Ediciones INTA, pp. 139.
- Larroulet, M.S., Hepper, E.N., Alvarez Redondo, M., Belmonte, V. y Urioste, A.M. (2016). The Caldenal Ecosystem: Effects of a Prescribed Burning on Edaphic Properties. *Arid Land Research and Management* 30(1) 105-119.
- Lerner, P.D. (2004). El Caldenar: dinámica de poblaciones de caldén y procesos de expansión de leñosas en pastizales, en: Arturi, M. F., Frangi, J. L. y Goya, J. F. (eds.), *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*, La Plata, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Llorens E.M. & E.O. Frank. 1999. Aspectos ecológicos del estrato herbáceo del caldénal y estrategias para su manejo. AACREA, Subsecretaría de Asuntos Agrarios-Prov. de La Pampa, E.E.A. INTA Anguil. pp.

- Llorens, E.M. y Frank, E.O. (2003). El fuego en la provincia de La Pampa. En: Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA Santiago del Estero. (Eds.:Kunst C.R., S.Bravo & J.L. Panigatti). Pp 259-268.
- López-Pintor, A., Sal, A. G., y Benayas, J. R. (2006). Shrubs as a source of spatial heterogeneity— the case of *Retama sphaerocarpa* in Mediterranean pastures of central Spain. *Acta oecologica*, 29(3), 247-255.
- Ludwig, F., Dawson, T. E., de Kroon, H., Berendse, F., y Prins, H. H. (2003). Hydraulic lift in *Acacia tortilis* trees on an East African savanna. *Oecologia*, 134(3), 293-300.
- Ludwig, F., de Kroon, H., Berendse, F., y Prins, H. H. (2004). The influence of savanna trees on nutrient, water and light availability and the understorey vegetation. *Plant Ecology*, 170(1), 93-105.
- Martínez, E.H., Fuentes J.P. y Acevedo E.H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 8 (1) (68-96).
- Medina, A., Dussart, E.G., Estelrich, H.D., y Morici, E.A. (2000). Reconstrucción de la Historia de Fuego en un bosque de *Prosopis caldenia* (Burkart.) de Arizona, Sur de la Provincia de San Luis. *Multequina*, 9:91-98
- Milchunas, D.G., Sala, O.E. y Lauenroth, W.K. (1988). A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *The American Naturalist*. 132:87-106.
- Morici, E.F.A., Doménech-García, V., Gómez-Castro, G., Kin, A., Saenz, A. y Rabotnikof, C. 2009a. Diferencias estructurales entre parches de pastizal del caldenal y su influencia sobre el banco de semillas, en la Provincia de La Pampa, Argentina. *Agrociencia*, 43: 529- 537.

- Morici, E.F.A., Muiño, W., Ernst, R., Berrueta, M.A., Urioste A. y Hepper, E. (2009b). Respuesta del pastizal del Caldenal a una quema controlada. En: Actas V Congreso Nacional, II Congreso del Mercosur y I Jornada Técnica de Productores Sobre Manejo de Pastizales Naturales. Corrientes, Argentina. p.132.
- Nilsson, S., Miller, H., & Miller, J. (1982). Forest Growth as a Possible Cause of Soil and Water Acidification: An Examination of the Concepts. *Oikos*, 39(1), 40-49.
- Peláez D.V., R.M. Bóo, M.D. Mayor & O.R.Elía, 2001. Effect of fire on perennial grasses in central semiarid Argentina. *J. Range. Manage.* 54:617-621.
- Perez, V., Cañete, M.C. y Vicentini, G. M. (2016). Crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. en rodales con distintas densidades post raleo. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos. Pp 5.
- Prescott, C. The influence of the forest canopy on nutrient cycling, *Tree Physiology*, Volume 22, Issue 15-16, November 2002, Pages 1193–1200, <https://doi.org/10.1093/treephys/22.15-16.1193>
- Prieto S.E. & J.C. Ves Losada. 2006. Efecto del fuego sobre la fauna edáfica en un área del Caldénal de la provincia de La Pampa, Argentina. INTA. Publicación Técnica N° 68. 1-26.
- Raich, J.W. y Schlesinger, W.H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44: Pp 81-99.
- Raich, JW, Tufekciogul, A. Vegetación y respiración del suelo: correlaciones y controles. *Biogeochemistry* 48, 71–90 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1006112000616>
- Richter DD, Markewitz D. 1995. How deep is soil? *Bioscience* 45: 600–609.
- Rodriguez-Iturbe, I., Porporato, A., Ridolfi, L., Isham, V., y Coxi, D. R. (1999). Probabilistic

- modelling of water balance at a point: the role of climate, soil and vegetation. In Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Vol. 455, No. 1990, pp. 3789-3805). The Royal Society.
- Rolhauser, M. y Uhaldegaray, A. (2016). El rolado selectivo y la aplicación de herbicidas selectivos como herramientas para intervenir fachinales, su efecto y duración sobre la estructura vertical y horizontal de la vegetación. Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía UNLPam.
- SAyDS. (2004). GEO Argentina Perspectivas del medio ambiente en Argentina. p. 316.
- SAyDS 2006, GEO Argentina: perspectivas del medio ambiente de la Argentina. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); Ministerio de Salud y Ambiente (argentina); Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable; Buenos Aires, 312 pp.).
- Salinas, J., Sotomayor, A., Peri, P. y Acuña, B. (2015). Evaluación de un raleo bajo enfoque silvopastoral, en un renoval de *Nothofagus antarctica* (ñire) en la Patagonia Chilena. 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles: VII Congreso Internacional Sistemas Agroforestales / compilado por Pablo L. Peri. - 1a ed. – Santa Cruz : Ediciones INTA, 2015. 716 p.
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R. et al. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. Plant and Soil 233, 251–259 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1010526209076>.
- Singh J. y Gupta S. (1977). Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review 43: pp. 450-511.
- Scholes, R.J. y Archer, S.R. (1997). Tree-grass interactions in savannas. Annual Review of Ecology and Systematic 28: 517-544.

- Schulze, E. D., Caldwell, M. M., Canadell, J., Mooney, H. A., Jackson, R. B., Parson, D., y Trimborn, P. (1998). Downward flux of water through roots (ie inverse hydraulic lift) in dry Kalahari sands. *Oecologia*, 115(4), 460-462.
- Subke et al. (2006) Trends and methodological impacts in soil CO<sub>2</sub> efflux partitioning: A meta-analytical review.
- Tate, K.R., Scott, N. A., Ross, D. J., Parshotam A, and. Claydon J.J. “Plant effects on soil carbon storage and turnover in a montane beech (*Nothofagus*) forest and adjacent tussock grassland in New Zealand,” *Soil Research*, vol. 38, no. 3, pp. 685–698, 2000.
- Tiedemann, A. R., y Klemmedson, J. O. (1986). Long-term effects of mesquite removal on soil characteristics: I. Nutrients and bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, 50(2), 472-475.
- Trucco R.A., E.N. Hepper, A.M. Urioste, V. Belmonte y D.E. Buschiazzo. 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.
- Ugolini, F.C., Dahlgren, R., Shoji, S., Ito, T., 1988. An example of andosolization and podzolization as revealed by soil solution studies, southern Hakkoda, northeastern Japan. *Soil Sci.* 145 (2), 111–125.
- Urive Echavarría, J. (2014). Evaluación del efecto de residuos vegetales aportados por *Prosopis caldenia* sobre propiedades químicas y físicas del suelo. Tesina. Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Argentina. Disponible en: [http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/x\\_urieva570.pdf](http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/x_urieva570.pdf).
- Van Auken, O. W. (2000). Shrub invasions of North American semiarid grasslands. *Annual review of ecology and systematics*, 197-215.

- Walkley, A. y Black, A. I. An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38, 1934.
- Weltzin, J. F., y Coughenour, M. B. (1990). Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science*, 1(3), 325-334.
- Wischmeier WH and Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosionlosses – a guide to conservation planning. Washington, DC: USDepartment of Agriculture

## ANEXO

Respiración:

Anova doble

## Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Respiración	78	0.47	0.34	32.93

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9378.19	15	625.21	3.63	0.0002
Estaciones	7162.97	3	2387.66	13.85	<0.0001
Tratamiento	239.92	3	79.97	0.46	0.7084
Estaciones*Tratamiento	1792.99	9	199.22	1.16	0.3388
Error	10685.14	62	172.34		
Total	20063.33	77			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=8.40700

Error: 172.3410 gl: 62

Estaciones	Medias	n	E.E.	
Invierno	29.68	20	2.94	A
Primavera	31.43	19	3.03	A
Verano	46.18	19	3.03	B
Otoño	52.10	20	2.94	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0.05)

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=8.40700

Error: 172.3410 gl: 62

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
A-CR	37.38	20	2.94	A
A-SR	39.28	19	3.03	A
C-SR	40.66	19	3.03	A
C-CR	42.08	20	2.94	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0.05)

## Anova simple

## Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Respiración	78	0.39	0.37	33.42

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8254.23	3	2751.41	15.99	<0.0001
Estaciones	8254.23	3	2751.41	15.99	<0.0001
Error	12737.01	74	172.12		
Total	20991.24	77			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=8.37464

Error: 172.1218 gl: 74

Estaciones	Medias	n	E.E.	
Primavera	28.64	19	3.01	A
Invierno	29.68	20	2.93	A
Verano	46.42	19	3.01	B
Otoño	52.10	20	2.93	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Carbono Orgánico Total:**

## Anova doble:

## Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C orgánico	78	0.52	0.40	38.68

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	79.95	15	5.33	4.47	<0.0001
Estaciones	11.88	3	3.96	3.32	0.0254
Tratamiento	41.64	3	13.88	11.64	<0.0001
Estaciones*Tratamiento	26.60	9	2.96	2.48	0.0174
Error	73.94	62	1.19		
Total	153.89	77			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.40207

Error: 1.1926 gl: 62

Estaciones	Tratamiento	Medias	n	E.E.				
Otoño	C-CR	1.72	5	0.49	A			
Invierno	A-SR	1.99	5	0.49	A	B		
Primavera	C-CR	1.99	5	0.49	A	B		
Otoño	A-SR	2.01	5	0.49	A	B		
Primavera	A-SR	2.06	5	0.49	A	B		
Verano	A-SR	2.08	5	0.49	A	B		
Primavera	A-CR	2.32	4	0.55	A	B	C	
Verano	A-CR	2.50	5	0.49	A	B	C	
Invierno	C-SR	2.54	5	0.49	A	B	C	
Invierno	A-CR	2.71	5	0.49	A	B	C	
Invierno	C-CR	2.91	5	0.49	A	B	C	
Otoño	A-CR	3.15	5	0.49	B	C	D	
Primavera	C-SR	3.57	5	0.49		C	D	
Verano	C-CR	3.82	4	0.55		C	D	
Otoño	C-SR	4.38	5	0.49			D	E
Verano	C-SR	5.52	5	0.49				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**pH:**

Anova doble:

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	78	0.65	0.56	7.89

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26.00	15	1.73	7.66	<0.0001
Tratamiento	8.44	3	2.81	12.44	<0.0001
Estaciones	10.54	3	3.51	15.53	<0.0001
Tratamiento*Estaciones	6.01	9	0.67	2.95	0.0055
Error	14.02	62	0.23		
Total	40.02	77			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.61053

Error: 0.2261 gl: 62

Tratamiento	Estaciones	Medias	n	E.E.	
C-SR	Verano	4.81	5	0.21	A
C-CR	Verano	5.32	5	0.21	A B
C-SR	Otoño	5.32	5	0.21	A B
C-SR	Primavera	5.63	5	0.21	B C
A-CR	Verano	5.66	4	0.24	B C
A-SR	Verano	5.91	5	0.21	B C D
A-CR	Invierno	5.92	5	0.21	B C D
A-CR	Primavera	6.15	5	0.21	C D
C-SR	Invierno	6.18	4	0.24	C D
A-SR	Invierno	6.19	5	0.21	C D
C-CR	Primavera	6.19	5	0.21	C D
C-CR	Otoño	6.35	5	0.21	D
A-SR	Primavera	6.36	5	0.21	D
C-CR	Invierno	6.39	5	0.21	D
A-CR	Otoño	7.00	5	0.21	E
A-SR	Otoño	7.05	5	0.21	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )