



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para la obtención del grado académico de Ingeniera  
en Recursos Naturales y Medio Ambiente.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE RESIDUOS VEGETALES APORTADOS POR *Prosopis caldenia* SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO.

Josefina Uribe Echevarria

Santa Rosa (La Pampa)

Argentina

2014

## Prefacio

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniera en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en las Cátedras de Introducción a la Química y Química General, dependiente del Área de Ciencias Básicas de la Facultad de Agronomía-UNLPam, durante el período comprendido entre el 27 de Septiembre de 2012 y el 16 de Junio de 2014, bajo la dirección de Hepper, Estela N.; y bajo la codirección de Morici, Ernesto F.

16 de Junio de 2014

Área de Ciencias Básicas de la Facultad de Agronomía- UNLPam.

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Universidad Nacional de La Pampa

## Agradecimientos

Agradezco profundamente en la realización de este trabajo a Estela, por su dedicación y compromiso por orientarme en cada inquietud que me fue surgiendo. A todo el equipo de las Cátedras de Introducción a la Química y Química General, a los técnicos de laboratorio, Mirta y Abel por su gran ayuda y el acompañamiento tan cálido en mis días de trabajo. A Ernesto Morici. A mis amigas, mi sostén que no dudan en estar siempre en los buenos y los malos momentos. A mis tíos y primos, Adolfo, Claudia, Lisi y Rosario. A mi mamá y mi papá siempre alentándome a que suelte mis alas. Y a mis hermanas Ana y Pancha, guías de espíritu.

## Resumen

La cobertura de diferentes especies vegetales aporta residuos al suelo variables en cantidad y calidad, que influyen sobre su fertilidad. En la región central del caldenal se encontró que suelos con predominio de especies no forrajeras presentan propiedades edáficas diferentes de aquellos suelos con vegetación predominantemente forrajera. Los parches con especies no forrajeras pueden encontrarse en áreas abiertas o bajo cobertura arbórea de *Prosopis caldenia*, este último podría influir sobre algunas características del suelo. El objetivo general fue evaluar el efecto de esta especie sobre propiedades edáficas. En un sitio del Caldenal se seleccionaron 10 parches de vegetación con predominio de especies no forrajeras, de los cuáles 5 presentaron estrato arbóreo. En cada uno de los parches se obtuvo una muestra compuesta de suelo de los primeros 2,5 cm del perfil. Se determinaron fracciones de carbono orgánico y contenido de nutrientes, repelencia al agua y medidas de infiltración. En el suelo bajo la cobertura de caldén se encontró mayor contenido de las fracciones de carbono orgánico y de nitrógeno, de fósforo total y disponible y de cationes intercambiables, debido principalmente al aporte de residuos vegetales del caldén. En estos parches los materiales orgánicos frescos son mayores que la materia orgánica transformada, esto se debería a que la mayor cobertura de broza y la sombra de los árboles originan una menor exposición a la insolación y menor temperatura, factor que condiciona la actividad microbiana. Los residuos aportados por caldén se asocian a superficies de suelo hidrofóbicas, condicionando la captación y retención de agua en el horizonte superior.

## Abstract

Litter from different plant species provide residues to the soil that vary in quantity and quality, have an influence on its fertility. In the central region of the “caldenal” it was found that soils with predominance of non- forage species have properties different from soils with forage vegetation. The areas with non- forage species can be found in open areas or under trees like *Prosopis caldenia*. This speas tree could influence soil characteristics. The main objective was to evaluate the effect that this tree has on soil properties. Ten areas of vegetation with a predominance of vegetation non- forage were selected on a section of the caldenal. Five of them had arboreal strata. Composite samples of the first 2,5 cm of the soil were taken from each of them. Soil determinations included organic carbon and nutrients, water repellency and infiltration rate. In the soil under caldenal coverage a higher content of organic carbon fractions and nitrogen, total of available phosphorus and of exchangeable cations were found, mainly due to the vegetation residues from trees. In this areas, fresh organic materials were larger than transformed organic matter, this could be due to the fact that dead leaves and shadow from the trees resulted in lower solar exposure and lower temperature, a factor that affects microbial activity. The litter produced by caldén is associated to hydrophobic surfaces of soil influencing water capture and retention in the upper horizon.

## INDICE

	Página
<b>Introducción</b>	1
<b>Materiales y Métodos</b>	
Características del área de estudio	7
Muestreo y Determinaciones de laboratorio	8
Análisis de Datos	10
<b>Resultados y Discusión</b>	
Carbono orgánico y sus fracciones	11
Nitrógeno total y sus fracciones	15
Fracciones de fósforo	17
pH	19
Cationes intercambiables	21
Densidad aparente	21
Hidrofobicidad	22
Infiltración y Esgurrimiento	23
<b>Conclusión</b>	28
<b>Bibliografía</b>	29

## INTRODUCCIÓN

El bosque de Caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) se extiende en la región central semiárida templada de Argentina. Es una formación boscosa de tipo xerófila, caracterizada básicamente por tres estratos: el arbóreo que puede ser abierto o denso, dominado por ejemplares del género *Prosopis* (*P. nigra*, *P. caldenia* y *P. flexuosa*) asociado con ejemplares *Geoffroea decorticans* y *Jodina rombhifolia*. El arbustivo, compuesto principalmente por los géneros *Condalia microphylla*, *Prosopis flexuosa* var. *depressa*, *Aloysia gratissima*; *Caesalpinia gilliesi*, *Capparis atamisquea* y *Lycium chilense* y el estrato gramíneo-herbáceo, compuesto por especies de los géneros *Nassella tenuis* (Phil.) Barkworth, *Nassella tenuissima* (Trin.) Barkworth, *Poa ligularis* Nees ex Steud. var. *ligularis*, *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack, *Bromus brevis* Nees, *Jarava ichu* Ruiz & Pav. var. *ichu*, *Bothriochloa springfieldii* Parodi y *Digitaria californica* (Cano, 1988; SAyDS, 2007). Actualmente es muy difícil hacer una generalización del bosque pampeano en sus propiedades florísticas, estructurales y funcionales (Lerner et al., 2004), donde no existen dos áreas idénticas, sino que son distintos estados de sucesión de un mismo tipo de vegetación, provocados por múltiples combinaciones de factores ambientales y antrópicos (Roberto et al., 2005). El aumento del pastoreo, es uno de los múltiples disturbios que modificaron el paisaje del Caldenal y ha causado una gran heterogeneidad estructural, encontrándose la vegetación distribuida en parches (Morici et al., 2003) es decir, agrupación de especies que comparten los mismos recursos y que difieren de las áreas vecinas (Barrows, 1996). Por un lado podemos encontrar un pastizal bajo de gramíneas forrajeras de desarrollo invernal, como *Poa ligularis*, *Piptochaetium napostaense* y *Nassella tenuis*. Y por otro, parches con dominancia de especies no forrajeras *Nassella tenuissima*, *Jarava ichu*, *N. trichotoma* y *Amelichloa brachychaeta* (Instituto de Botánica Darwinion, 2014). Estas últimas especies han aumentado en abundancia, al colonizar los espacios generados por la desaparición de especies forrajeras (Morici et al., 2009).

Las propiedades físicas y químicas de los suelos de esta región son variables y dependen de las condiciones ambientales y del manejo (Hepper et al., 2012). Los suelos de mayor representatividad espacial son los Haplustoles y Ustipsamentes, los primeros son de textura franco arenosa y poseen mayor capacidad de retención de agua que los Ustipsamentes, que presentan textura más gruesa (arenosa - arenosa franca) (Peña Zubiarte et al., 1980). Esta

característica les confiere a los Haplustoles, un mayor contenido de materia orgánica, mejor distribución de tamaño de los agregados y mayor estabilidad estructural (Adema et al., 2003). La textura es uno de los factores influyentes en los niveles de materia orgánica (MO) en la región semiárida pampeana, suelos con mayor porcentaje de partículas minerales finas presentan mayor contenido de materia orgánica (MO) (Buschiazzo et al., 1991; Galantini et al., 2008). Asimismo las diferentes especies vegetales aportan residuos al suelo variables en cuanto a la cantidad, naturaleza y periodicidad. A su vez, la vegetación a través de sus raíces, modifica la actividad microbiológica y la relación materia orgánica fracción mineral (Angers & Mehuys, 1990). La heterogeneidad de cobertura vegetal y el sistema ganadero favorecen o perjudican las condiciones en que se desarrolla la biota del suelo en los agroecosistemas (Linares Arias, 2006), la que a su vez influye en el reciclaje de nutrientes, descomposición de la materia orgánica y de la biomasa y en la humificación.

Los contenidos de MO total y sus fracciones se han considerado atributos determinantes de la calidad del suelo (Gregorich et al., 1994). La fracción lábil de la materia orgánica, asociada a las partículas mayores a 100  $\mu\text{m}$  (Cambardella & Elliot, 1992), en su descomposición aporta nutrientes para las plantas y los microorganismos, por lo que un aporte diferente de residuos vegetales influirá en la fertilidad química del suelo, ya que esta fracción es más sensible a los cambios que se producen por prácticas de manejo (Studdert et al., 2008). La MO asociada a las partículas menores a 50  $\mu\text{m}$  es de tipo amorfa, altamente humificada y de mayor estabilidad, la cual mejora la microestructura (Vásquez, 2008). La disponibilidad de nutrientes en los ecosistemas forestales depende del reciclado de la MO en el suelo, cuya principal fuente de residuos son las copas de los árboles a través de su follaje, ramas y raíces (Prescott, 2002). El principal constituyente de la MO es el carbono (C), que llega a representar entre el 40 y 60% según su estado de transformación (Galantini, 1994).

En trabajos previos realizados en dos sitios del ecosistema del Caldenal, se buscó estudiar la evolución en el contenido de carbono orgánico, fósforo disponible y pH luego de una quema controlada. En general, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas para las variables analizadas (Trucco et al., 2006), lo que se atribuyó a la heterogeneidad espacial en la distribución de los nutrientes, hecho que podría estar asociado a la diferencia en la cobertura vegetal de cada muestra. A partir de estos resultados se inició el estudio del efecto del tipo de vegetación dominante sobre propiedades físicas y químicas de un suelo del Caldenal pampeano de textura franco arenosa y se encontraron diferencias en algunas propiedades

edáficas. Suelos con predominio de especies no forrajeras bajo cobertura arbórea presentaron mayor contenido de carbono orgánico total, de las fracciones carbono orgánico particulado y carbono orgánico mineral, de nitrógeno total y de fósforo disponible que aquellos suelos cuya vegetación predominante son especies forrajeras (Hepper et al., 2012), esto podría deberse a la mayor incorporación de residuos vegetales y a una menor extracción de fitomasa a partir del pastoreo en el parche no forrajero con estrato arbóreo. Wilson et al. (2001) demostraron que el ingreso de compost al suelo aumentó el contenido de materia orgánica particulada y la cantidad de esta se asoció positivamente con la mineralización de nitrógeno. Existen cinco hipótesis formulados por Fisher (1990), sugiriendo que los bosques contribuyen en el mejoramiento de los suelos degradados, con los siguientes mecanismos: (1) incremento en el contenido de materia orgánica como resultado de la fijación de C en la fotosíntesis y este se transfiere por vía de los residuos de las hojas y raíces retornando al suelo (Sanchez, 1987; Brown & Lugo, 1990); (2) la fijación de nitrógeno por algunos árboles de leguminosas, permite el incremento de nitrógeno en el suelo bajo las copas de los arboles (Prinsley & Swift, 1986); (3) un efecto de rizósferas de árboles sobre los suelos resulta un mejoramiento de la mineralización de nitrógeno y el aumento de la biomasa microbiana (Mao et al., 1992); (4) la modificación microclimática por las copas de los arboles que modera las temperaturas del aire y suelo y los regímenes de humedad en el suelo (Fisher, 1995); (5) los nutrientes pueden mantenerse en los sistemas silvopastoriles mediante el reciclaje que hacen árboles y arbustos al explorar capas profundas del perfil, atrapando y reciclando nutrientes que de otra forma podrían perderse por lavado (Young, 1997). Por otra parte, en un estudio sobre la sustentabilidad del suelo de un sistema agrosilvopastoril de la selva tropical colombiana, se encontró que en sitios con pasturas asociadas a árboles forrajeros de crecimiento alto, el contenido de MO fue bajo ya que la sombra de las copas y la cobertura de la broza reducen la temperatura del suelo y disminuyen la actividad microbiana (Young, 1997). En contraste, los efectos de árboles y arbustos sobre el suelo en los sistemas silvopastoriles se manifestaron en el mantenimiento e incremento de los niveles de materia orgánica mediante el aporte del material de la broza y los residuos de raíces, lo que mejora la fertilidad del suelo (Linares Arias, 2006).

Es importante tener en cuenta la calidad de los residuos vegetales que se incorporan al suelo, sobre todo en la relación carbono/nitrógeno (C/N), ya que influye en la tasa de descomposición de la materia orgánica. Su acumulación en la superficie del suelo genera

mayor relación C/N, causando mayor competencia por nitrógeno en el proceso de mineralización del rastrojo (Martínez Gamiño, 2002). La dinámica de descomposición de la hojarasca, varía entre las especies herbáceas, en este sentido los resultados en diferentes sistemas ganaderos ponen de manifiesto que la velocidad de descomposición varía entre los sistemas, siendo más intensa en el sistema silvopastoril que en el monocultivo de gramíneas (Sánchez Cárdenas et al., 2008).

El ingreso de los residuos vegetales (hojas, tallos, etc.) al suelo, desempeña un importantísimo papel hidrológico y antierosivo y atenúa las bruscas fluctuaciones de la humedad de la superficie del suelo (Kolmans y Vásquez, 1996). Hepper et al. (2010) realizando estudios de captación de agua en un suelo de la Región Central del Caldenal Pampeano, encontraron que el suelo de áreas bajo caldén con estrato herbáceo dominado por especies no forrajeras, presentó menor tasa de infiltración media que el suelo con cobertura de forrajeras. La menor captación de agua podría deberse a la presencia de superficies hidrofóbicas, es decir que el suelo no tiene afinidad con el agua. El agua no se esparce sobre el suelo, sino que permanece sobre su superficie por largo tiempo y adquiere formas que reducen al máximo el contacto entre los componentes sólido-líquido (Jaramillo- Jaramillo, 2006). El origen de la hidrofobicidad puede ser el recubrimiento de las partículas minerales del suelo por sustancias orgánicas provenientes del exudado de raíces (Doerr et al., 1998), hongos y productos microbianos, como así también intermezclas de partículas minerales del suelo con materia orgánica, como restos de raíces, hojas, tallos (Bisdorn et al., 1993). Las partes primarias de las plantas (excepto las raíces) están recubiertas por una cutícula compuesta por lípidos solubles e hidrofóbicos empotrados en una matriz de poliéster. En realidad plantas con hojas repelentes al agua hay en todos los ambientes y formas de vida, pero con clara dominancia en las hierbas (Dekker & Ritsema, 2000). Asimismo, en el estrato arbóreo del parche de vegetación no forrajera predomina el género *Prosopis*, mencionado por Doerr et al. (2000) como uno de los responsables de aportar sustancias que generan hidrofobicidad en los suelos. La presencia de superficies de suelo repelentes al agua trae consecuencias sobre la captación y retención de agua en el horizonte superior, vale indicar que el flujo de agua a través del perfil de suelos hidrofóbicos produce patrones de humedecimiento irregulares (DeBano, 2000), esto reduce el volumen de suelo húmedo en el horizonte superficial donde se da el mayor desarrollo radical y por lo tanto habrá menor cantidad de agua disponible para las plantas, afectándose también la germinación de las semillas (Hepper et al., 2013). Sin

embargo, la presencia de árboles afecta la dinámica del agua de varias formas: actuando como barreras, las cuales controlan la escorrentía; como cobertura, la cual reduce el impacto de gota, y como mejoradores del suelo, incrementando la infiltración y la retención de agua (Young, 1997). Por su parte, los suelos menos repelentes no son los que conservan mayor cantidad de humedad (Jaramillo-Jaramillo, 2006).

Si bien se han encontrado diferencias de propiedades edáficas entre parches de especies forrajeras y no forrajeras, es importante destacar que estas últimas pueden encontrarse en áreas abiertas o bajo cobertura arbórea de *Prosopis caldenia*, y por lo tanto la presencia del árbol podría ser la determinante de las diferencias detectadas por Hepper et al. (2013).

Para que el sistema suelo-planta-animal se mantenga siempre productivo, debe mantenerse el flujo adecuado de los nutrientes y la energía entre los diferentes componentes que lo conforman (Jarvis, 1993). El suelo es el componente clave que regula los ciclos de los nutrientes en los ecosistemas terrestres. Siendo el mismo, el almacén que recibe, acumula y libera la mayoría de los nutrientes esenciales de las plantas a través de los procesos físicos, químicos y biológicos (Crespo et al., 2005). Las plantas absorben estos nutrientes para garantizar su crecimiento y reproducción, el ganado consume una proporción de las partes aéreas de los pastos y el material remanente (la hojarasca) puede retornar al suelo. Debido a que el suelo es uno de los ambientes en que ocurren las interacciones entre los componentes arbóreos y no arbóreos de un sistema silvopastoril y a que este manejo del bosque de caldén podría representar una importante actividad productiva para la Provincia de La Pampa, es importante realizar estudios que evalúe la influencia del caldén sobre las propiedades edáficas.

Se plantearon las siguientes hipótesis:

El aporte de residuos vegetales por parte de *Prosopis caldenia* incidiría en la dinámica de materia orgánica del suelo y en el contenido de los nutrientes nitrógeno total y fósforo disponible.

Bajo la influencia de la cobertura arbórea, la proporción de carbono orgánico mineral (asociado a la fracción granulométrica menor a 100 micrómetros) será menor respecto del carbono orgánico particulado, debido a que las condiciones del suelo son menos favorables para la transformación del material orgánico que ingresa al mismo, ya que la sombra de los árboles y la mayor cobertura de broza reducirían la temperatura del suelo con lo que disminuiría la actividad microbiana.

El aporte de sustancias hidrofóbicas en los suelos por parte de *Prosopis caldenia* justificaría la baja tasa de infiltración y la alta repelencia al agua en parches de no forrajeras bajo cobertura arbórea.

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la incidencia de *Prosopis caldenia* sobre propiedades químicas y físicas del suelo.

Los objetivos específicos fueron:

Comparar propiedades edáficas entre parches con dominancia de gramíneas no forrajeras con *Prosopis caldenia* y parches con predominancia de no forrajeras sin cobertura arbórea.

Analizar la influencia del aporte de residuos vegetales de *Prosopis caldenia* sobre diferentes fracciones de materia orgánica del suelo y sobre el contenido de nutrientes.

Detectar si la alta repelencia al agua del suelo con vegetación predominantemente no forrajera está asociada al aporte de sustancias hidrofóbicas de *Prosopis caldenia*.

Evaluar si esta propiedad del suelo influye sobre la captación de agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Características del área de estudio:**

El sitio de muestreo está ubicado en el Establecimiento “Bajo Verde” (36° 28' 48" S, 64° 35' 03" O, 235 m), a unos 40 km al NO de Santa Rosa (La Pampa). El mismo pertenece a la Región del Espinal, la cual está representada por el Distrito del Caldén. En La Pampa se desarrolla entre las isohietas de 400 y 600mm, ocupando principalmente áreas bajas y depresiones, estas precipitaciones poseen una distribución mayoritaria primavero-estival con alta variabilidad mensual (Morici et al., 2011). La temperatura media anual es entre 14°C y 16°C, siendo la temperatura media del mes más frío (julio) de 7.3°C y del mes más cálido (enero) 23°C. El período medio libre de heladas es de aproximadamente 200 días (Casagrande y Conti, 1980).

El suelo del área de estudio se clasifica como Haplustol éntico, estos suelos corresponden al Orden Taxonómico Molisoles, los cuales presentan cierta evolución genética con escasa diferenciación de horizontes y leve estructuración. La textura varía entre franco y franco arenosa (Adema et al., 2003).

La vegetación está caracterizada fisonómicamente por un bosque xerófilo abierto caducifolio, donde la cobertura arbórea no supera el 20% (*Prosopis caldenia*) en el estrato herbáceo gramíneo, las gramíneas forrajeras más frecuentes son *Poa ligularis*, *Nassella tenuis* y *Piptochaetium napostaense* y como no forrajeras se caracterizan *Jarava ichu*, *Amelichloa brachychaeta*, *Nassella tenuissima* y *Nassella trichotoma* (Esterlich et al., 2005). Para este estudio se seleccionó un lote dentro del Establecimiento, que fue clasificado como Unidad de Manejo 15 (UMam15) en el marco del proyecto “Elaboración de pautas de Manejo Sustentable del Bosque de caldén en el Establecimiento Bajo Verde” (Morici et al., 2011) (Fig. 1). Esta unidad de manejo se caracteriza por un bosque abierto a cerrado con dominancia de *P. caldenia*, con renovales de la misma especie, algunos ejemplares pueden alcanzar los 5 m de altura, casi no existe el estrato arbustivo, mientras que las gramíneas no forrajeras *N. trichotoma*, *J. ichu* y *N. tenuissima* presentan una cobertura del 40% (Morici et al., 2011).

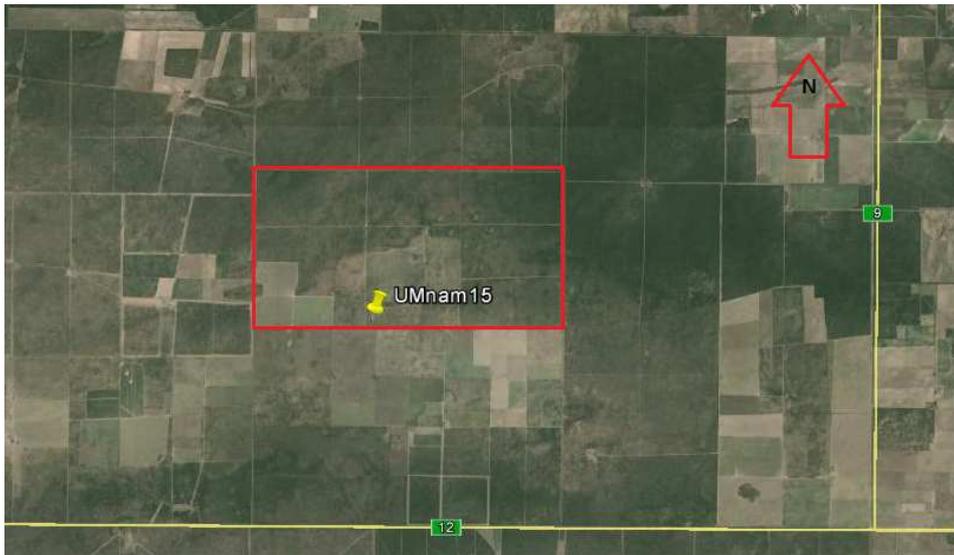


Figura 1. Unidad de Manejo N° 15 en el Establecimiento “El Bajo Verde”. 5 Km de Ruta Provincial N° 12 en dirección Norte y 7 Km de Ruta Provincial N° 9 en dirección Oeste (Google Earth, 2014).

### **Muestreo y Determinaciones de laboratorio:**

Se seleccionaron 5 parches de vegetación con estrato graminoso herbáceo en el que predominaban las especies no forrajeras y el estrato arbóreo de *P. caldenia* (BC), las especies no forrajeras más relevantes eran *Nasella ichu*, *N. trichotoma* y *Setaria spp.* también se observó la presencia de *Clematis montevidense*. Por otra parte se seleccionaron 5 parches con vegetación predominantemente no forrajera sin estrato arbóreo (NF). En el mismo sitio se encontró un codominio entre especies forrajeras (*Piptochaetium napostaense*) y no forrajeras predominando la especie *N. trichotoma*. En cada uno se obtuvo una muestra compuesta de suelo de los primeros 2,5 cm del perfil a partir de 5 submuestras. Las muestras se secaron al aire, se tamizaron por 2 mm y se realizaron las determinaciones de laboratorio que se detallan a continuación:

- ✓ Textura por el método de la pipeta de Robinson.
  
- ✓ Carbono orgánico total (COT) por el método de oxidación húmeda (Walkley y Black, 1934).

- ✓ Nitrógeno total (NT) se determinó por el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).
  
- ✓ Fraccionamiento físico del suelo por tamaño de partícula, mediante tamizado en húmedo (Galantini, 2005), se obtuvieron dos fracciones: 2000 - 100  $\mu\text{m}$  y 100 - 53  $\mu\text{m}$ . En cada una de dichas fracciones se determinó el contenido de carbono orgánico por el método de Walkley y Black, obteniéndose el contenido de carbono orgánico particulado (COP, asociado a la fracción mineral > 100 $\mu\text{m}$ ) y carbono orgánico mineral (COM1, asociado a la fracción mineral >53 $\mu\text{m}$ ). El contenido de carbono en la fracción menor de 53  $\mu\text{m}$  (COM2) se calculó con la siguiente expresión:  $\text{COM2} = \text{COT} - (\text{COP} + \text{COM1})$ . Además en cada fracción granulométrica, se determinó Nitrógeno (N) por el método Kjeldahl. Se definió N liviano (NI) al N que se encuentra asociado a la MO lábil (fracciones gruesas >100 $\mu\text{m}$ ), Nitrógeno de fracción intermedia (Nint) asociado a la fracción mineral > 53  $\mu\text{m}$  y N de fracción mineral fina (Nmf) N asociado a la MO estable que se encuentra en la fracción mineral fina (<53 $\mu\text{m}$ ) (Quiroga y Bono, 2008).
  
- ✓ Se calculó la relación carbono orgánico total (COT)/ carbono orgánico de cada una de las fracciones granulométricas (COP, COM1 y COM2). Además se analizó la calidad de residuos incorporados al suelo mediante la relación C/N para carbono orgánico y nitrógeno total (COT/Nt) y en las distintas fracciones granulométricas: COP/NI, COM1/Nint y COM2/Nmf.
  
- ✓ pH en agua (relación 1:2,5) por potenciometría.
  
- ✓ Fracciones de fósforo: Fósforo disponible (P Bray) por el método Bray Kurtz I (Bray y Kurtz, 1945); fósforo total (Pt) por calcinación y extracción ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2N); fósforo inorgánico (Pi) por extracción con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,2N) y fósforo orgánico (Po) obtenido por diferencia entre Pt y Pi (Kaila, 1962). La concentración de fósforo en los diferentes extractos fue determinada espectrofotométricamente por el método del ácido ascórbico y molibdato de amonio. Se determinó la relación COT/Po.
  
- ✓ Cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) por extracción con solución de acetato de amonio 1 mol/dm<sup>3</sup> a pH 7,2, y posterior determinación en el extracto de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por titulación con EDTA y  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  por fotometría de llama.

✓ Persistencia de la repelencia actual en superficie (RASup) con el test del tiempo de penetración de la gota de agua al suelo (WDPT) y el grado de repelencia ( $\gamma$ ND) (Dekker & Ritsema, 2000), para evitar cambios en la tensión superficial del agua al momento del goteo, se controló la temperatura del ambiente del laboratorio.

Para la determinación de densidad aparente se obtuvieron muestras de suelo de los parches anteriormente mencionados, tomando 3 repeticiones en todos los casos y con las mismas se determinó humedad edáfica por gravimetría.

Se realizó un ensayo de infiltración utilizando un simulador de lluvia portátil (Iruetia y Mon, 1994). Para esto se tomaron muestras de suelo de 21 cm de diámetro y 6 cm de profundidad y se trasladaron sin disturbar al laboratorio. Con los datos obtenidos en este ensayo se calcularon la infiltración media (InfM) y la tasa de infiltración final (InfF).

#### **Análisis de datos:**

Los datos se analizaron mediante análisis de medias basadas en dos muestras con el método t-Student, con un nivel de significación de 0,05. Se utilizó el programa estadístico InfoStat, versión 2012 (Universidad Nacional de Córdoba, Estadística y Biometría, F.C.A.; 2012). Asimismo se realizó análisis de regresión lineal simple.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo estudiado fue clasificado como Haplustol éntico (Peña Zubiato et al., 1980), así mismo, se ha encontrado que los suelos de los parches con diferente tipo de vegetación en el caldenal, BC y NF, corresponden a distinta clase textural. Las medias del contenido de la fracción arcilla, limo y arena permitieron clasificarlos como: franco arenoso al suelo del parche BC (15,2% arcilla; 26,9% limo; 57,8% arena) y franco al del parche NF (15,3% arcilla, 32,70% limo y 52% arena) (Fig. 2).

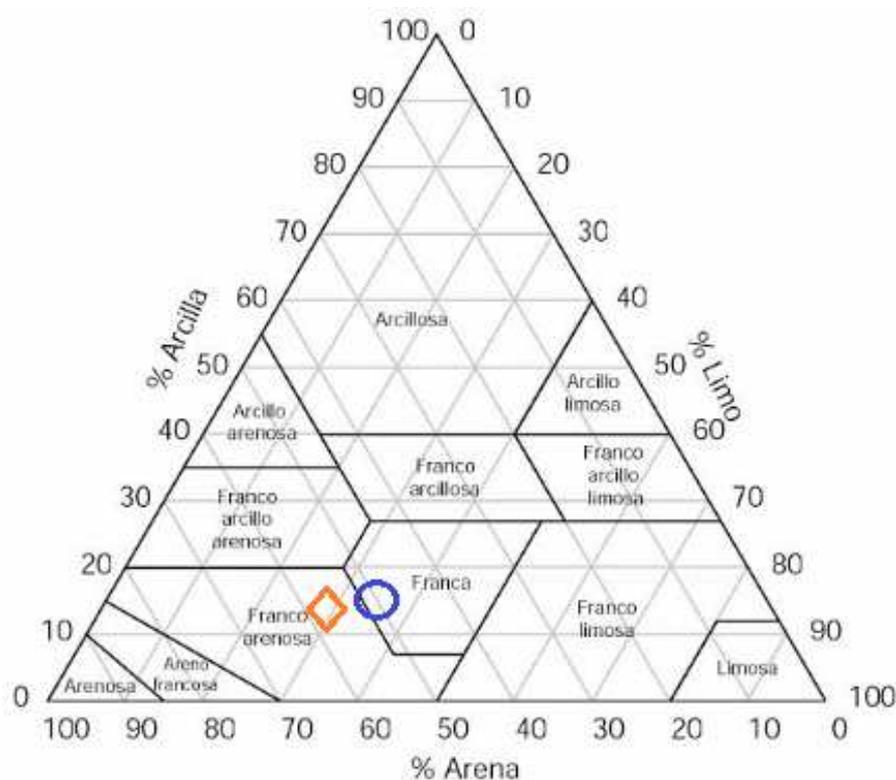


Figura 2. Triángulo de clase textural de diferentes parches de vegetación: no forrajera bajo caldén (BC) en rombo naranja y no forrajera (NF) en elipsoide azul.

### Carbono orgánico y sus fracciones

La materia orgánica del suelo (MOS) tiene como principal componente al carbono, este representa entre el 40% y 60% de la misma según el proceso de evolución en que se encuentre (Galantini, 1994). Este elemento químico se halla presente en los residuos del suelo, la mayoría aportados por las especies vegetales, las cuales a través de sus raíces, también

permiten la actividad microbiana modificando la relación materia orgánica-fracción mineral (Angers y Mehuys, 1990). En este trabajo se determinó las medias de los contenidos de carbono orgánico total (COT) y en las diferentes fracciones granulométricas de los parches BC y NF. El contenido de COT fue significativamente mayor ( $p= 0,0024$ ) en el suelo del parche BC que en NF (COT= 46,08 g/kg y 20,78 g/kg respectivamente) (Fig. 3). En los suelos de la región semiárida pampeana la textura es uno de los factores determinantes de los niveles de MO (Buschiazzo et al., 1991; Galantini, 1994), suelos con mayor porcentaje de partículas minerales finas presentan mayor contenido de MO (Galantini et al., 2008), los que permiten los procesos de humificación. En este estudio los suelos no presentaron diferencias significativas en el contenido de limo + arcilla ( $p= 0,331$ ). Las medias del porcentaje de la fracción mineral más fina resultaron para el parche BC 42,17 % y para los suelos de parches NF 48%. El mayor contenido de COT en el suelo del parche BC no estaría dado por un mayor contenido de complejos organominerales sino que estaría condicionado principalmente por el aporte de residuos vegetales frescos provenientes de *P. caldenia*.

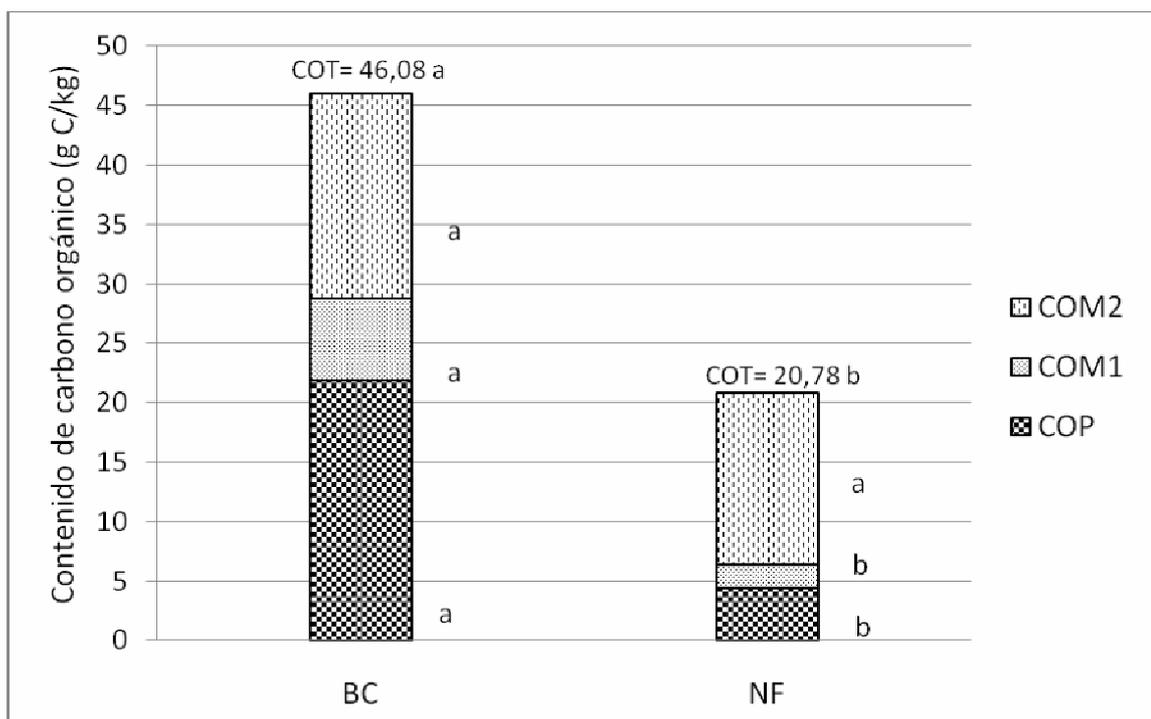


Figura 3. Contenido de carbono orgánico total (COT), particulado (COP) y mineral (COM1 y COM2) de suelos de diferentes parches de vegetación: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p < 0,05$ ).

Los contenidos de carbono orgánico asociados a las diferentes fracciones granulométricas son indicadores de la calidad de suelo por presentar una dinámica diferente entre transformación y estabilización del material orgánico que ingresa al suelo (Gregorich et al., 1994). El contenido de COP, que corresponde a la fracción más lábil de la materia orgánica y que podría actuar como indicador de la calidad del suelo (Cambardella & Elliot, 1992 y Galantini et al., 2008), fue significativamente mayor ( $p=0,0123$ ) en el suelo del parche BC (COP=21,9 g/kg) que en el suelo del NF (COP= 4,36 g/kg) (Fig. 3). La mayor acumulación superficial de COP se condice al hecho del mayor aporte de residuos (hojas, tallos, etc) por parte de la copa arbórea, la cual aporta la mayor cantidad de nutrientes (Prescott, 2002). Este ingreso de residuos al suelo es de suma importancia por su rol en la captación de agua, por su efecto antierosivo y porque atenúa las bruscas fluctuaciones de la humedad de la superficie del suelo (Kolmans y Vásquez, 1996). El COM1 presentó mayor contenido medio en el suelo del parche BC (COM1= 6,91 g/kg de suelo) que en el suelo del parche NF (COM1= 2,03 g/kg), siendo esta diferencia estadísticamente significativa ( $P=0,0106$ ) (Fig. 3). El COM2, la cual

corresponde a la materia orgánica más estable (Quiroga y Bono, 2008), no presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p= 0,5938$ ) entre los suelos de ambos parches (17,22 g C/kg y 14,4 g C/kg de suelo, para BC y NF respectivamente). El mayor contenido de carbono orgánico en las fracciones minerales más gruesas en el suelo del parche BC se explicaría no sólo por el gran ingreso de residuos de la copa del árbol, sino también por condiciones menos favorables para la transformación del material orgánico que ingresa al suelo debido a que la sombra de los árboles y la mayor cobertura de broza reducen la temperatura del suelo y disminuyen la actividad microbiana (Young, 1997).

Se determinó las relaciones COP/COT, COM1/COT y COM2/COT para constatar la incidencia de los residuos aportados por *P. caldenia* en el complejo material orgánico del suelo (Fig. 4). En estos suelos, la relación COP/COT fue significativamente mayor ( $p=0,016$ ) en los parches BC (COP/COT=0,48) que en NF (COP/COT=0,21). Para la relación COM1/COT no se detectaron diferencias significativas ( $p=0,1927$ ), mientras que para COM2/COT se encontraron diferencias significativas entre parches de vegetación ( $p= 0,03$ ), los mayores contenidos medios fueron para los suelos de los parches NF (COM2/COT BC = 0,37 y COM2/COT NF = 0,69) (Fig. 4). Es decir que del total de carbono orgánico ingresado al sistema suelo, el contenido de materia orgánica transformada es menor en el suelo bajo la influencia del caldén. Esto podría deberse a la acumulación de los residuos aportados por parte de *P. caldenia*, constituidos por follaje y desechos leñosos finos (Prescott, 2002), la madera y ciertas hojarascas que podrían tener mayor resistencia a la descomposición (Vásquez, 2008).

Además la capa de residuos orgánicos frescos y la sombra de la copa de *P. caldenia* determinarían condiciones de menor temperatura del suelo, uno de los factores que interviene en el proceso de transformación de la MO por parte de la actividad microbiana (Young, 1997).

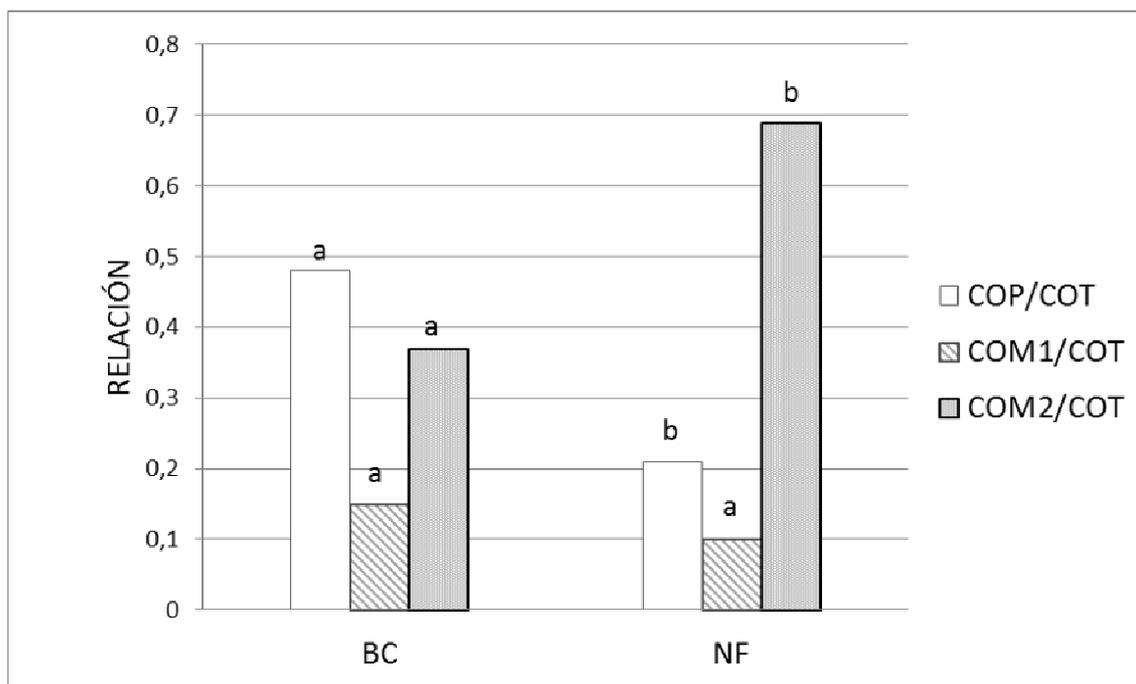


Figura 4. Relación carbono orgánico particulado y carbono orgánico total (COP/COT) y mineral (COM1/COT y COM2/COT) de suelos de diferentes parches de vegetación: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p < 0,05$ ).

La copa de los árboles tiene un rol muy importante en el ciclo de nutrientes por ser fuente de material orgánico fresco. Estas determinan la cantidad y la composición de los residuos de hojas, ramas, flores y frutos producidos, los cuales condicionan la cantidad de nutrientes que van a ser reciclados, las condiciones de humedad, la comunidad microbiana y faunística del mismo y la disponibilidad de nutrientes resultante (Prescott, 2002). Por esto se analizó la influencia de *P. Caldenia* sobre los contenidos de diversos nutrientes.

### Nitrógeno total y sus fracciones

Se determinó el contenido de nitrógeno total en el suelo y asociado a las fracciones minerales del mismo. Se encontró mayor contenido de Nt en los suelos del área BC ( $N_t = 5,75$  g/kg) con una diferencia significativa ( $p = 0,0027$ ) con respecto a los suelos del área de NF ( $N_t = 1,59$  g/kg) (Fig. 5). Los contenidos medios de nitrógeno para las distintas fracciones minerales también fueron significativamente mayores en los suelos bajo caldén que en el parche sin cobertura arbórea. El contenido de NI resultó para el suelo del parche BC mayor que para el parche de NF (2,3 g NI/kg y de 0,29 g NI/kg respectivamente) ( $p = 0,03$ ). El

contenido de Nint reflejó mayor valor para BC (0,67 g Nint/kg) que para NF (0,15 g Nint/kg) ( $p=0,001$ ). Y el contenido de Nmf fue más alto para los parches BC (2,58 g Nmf/kg) que para NF (1,14 g Nmf/kg) ( $p=0,001$ ) (Fig. 5).

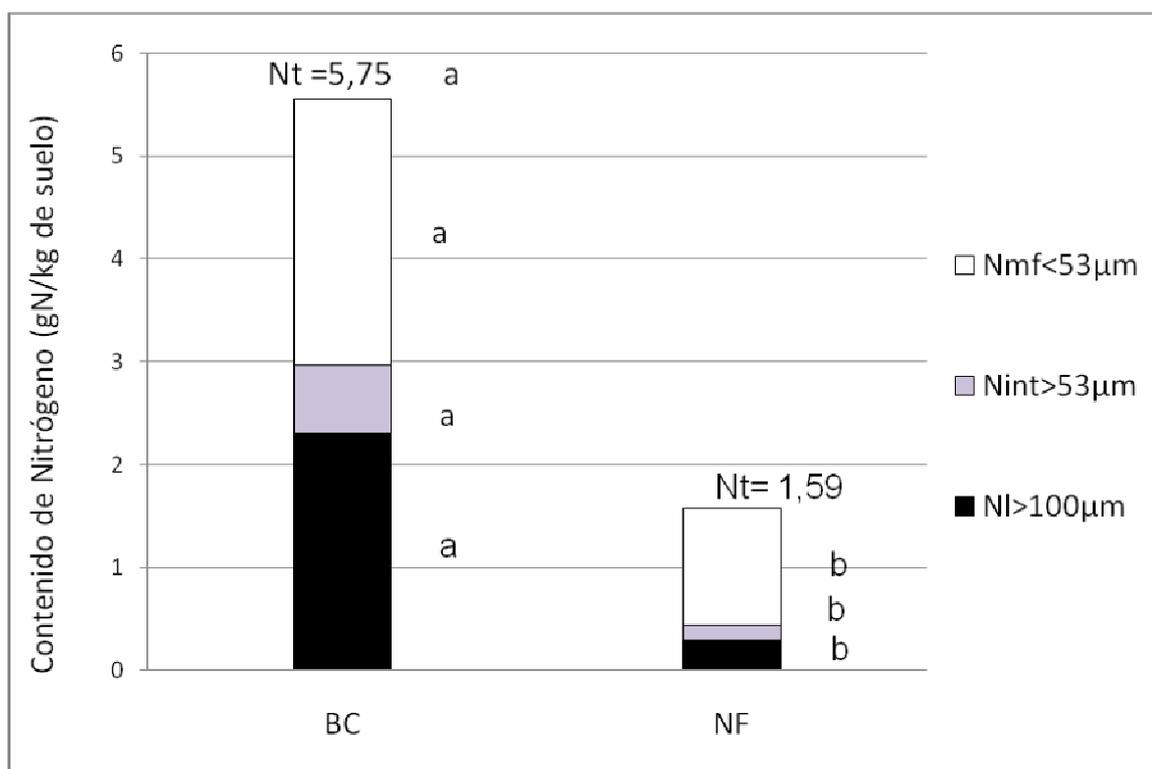


Figura 5. Contenido de Nitrógeno total (Nt), N liviano (NI >100μm), N de la fracción intermedia (Nint >53μm) y N de la fracción más fina (Nmf <53μm) de suelos de diferentes parches de vegetación: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p<0,05$ ).

Los últimos resultados obtenidos confirman la incidencia de los aportes de los residuos vegetales de *P. caldenia* en la dinámica del ciclo del N. La caída del follaje como hojas y ramas al suelo incrementan el contenido de MO particulada. Esto condiciona positivamente la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes, en este caso la mineralización de nitrógeno (Prescott, 2002; Wilson et al., 2001; Sánchez, 1987, Brown & Lugo, 1990). La fijación de nitrógeno que se produce gracias a los árboles de la familia de las leguminosas, incrementa el contenido de nitrógeno en el suelo bajo sus copas (Prinsely & Swift, 1986). La calidad de los residuos vegetales que se incorporan al suelo influye en la tasa de descomposición de la materia orgánica. La dinámica de descomposición de la hojarasca varía entre las distintas especies, entre herbáceas y arbóreas, y dentro de cada estrato vegetal, en este

sentido los resultados en diferentes sistemas ganaderos ponen de manifiesto que la velocidad de descomposición varía entre los sistemas, y fue más intensa en el sistema silvopastoril que en el monocultivo de gramíneas (Sánchez Cárdenas et al., 2008). Este estudio analizó la influencia del aporte de los residuos vegetales de *P. caldenia* sobre diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo y sobre el contenido de nutrientes, a través de la relación de C/N. En el siguiente gráfico se muestra las mencionadas relaciones, las cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los suelos de ambos parches (Fig. 6), indicando que en ambos parches la calidad de la materia orgánica sería similar y por lo tanto lo mismo sucedería en la disponibilidad para los microorganismos.

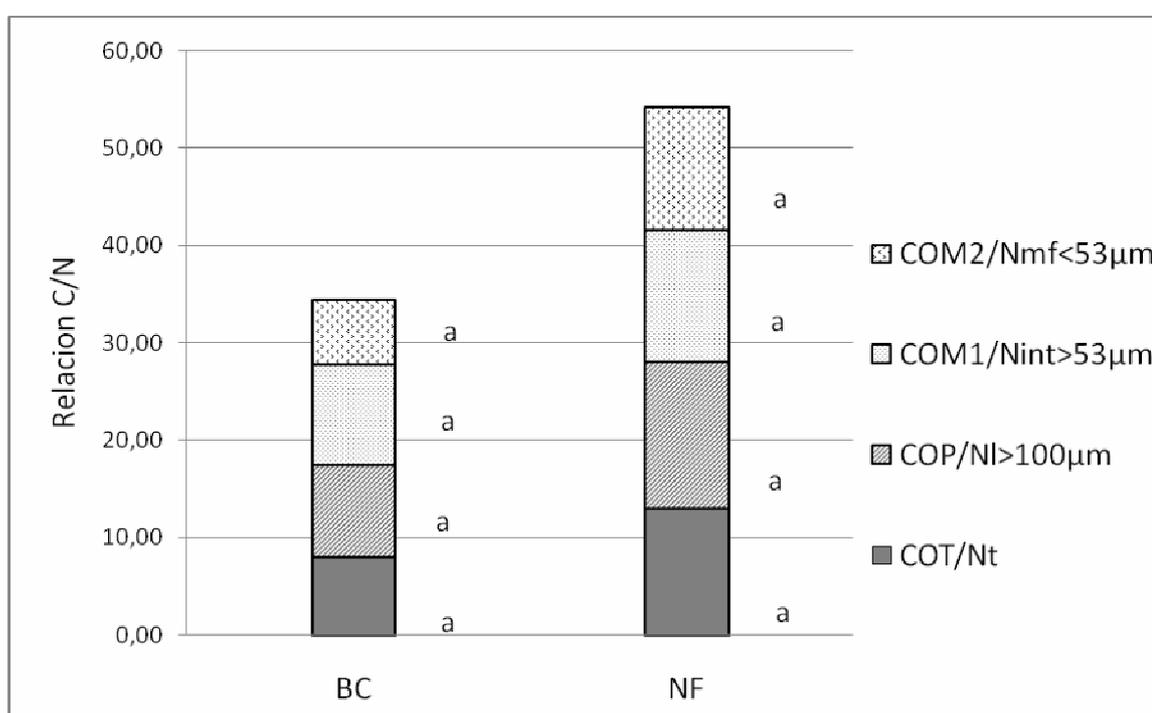


Figura 6. Relación de Carbono orgánico total y Nitrógeno total en el suelo y relación carbono orgánico y nitrógeno en las distintas fracciones granulométricas (COP/Ni >100µm; COM1/Nint >50µm; COM2/Nmf <50µm) del suelo de diferentes parches de vegetación: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p < 0,05$ ).

Por otra parte también se analizó la relación COT/Po, para la que tampoco se encontró diferencia significativa ( $p = 0,12$ ) entre los suelos estudiados (COT/Po BC = 384,86 y COT/Po NF = 272,98), concordando con lo encontrado para las relaciones carbono/ nitrógeno.

### Fraciones de fósforo

El fósforo (P) es un nutriente de muy baja movilidad en los suelos y por lo tanto su ciclado está estrechamente ligado a los procesos de formación y descomposición de la materia orgánica (Suñer et al., 2008). En suelos de la Región Semiárida Pampeana Central este elemento se encuentra predominantemente como fosfatos de calcio pocos solubles (Buschiazzo et al., 2000) y por lo tanto con baja disponibilidad para los vegetales. El P en el suelo se encuentra particionado, variando su disponibilidad para plantas y microorganismos (Picone y Zaummer, 2002). A continuación se muestran los resultados obtenidos de fósforo total (Pt), fósforo inorgánico (Pi) y fósforo orgánico (Po). El contenido medio de Pt para los parches BC fue significativamente mayor que en los parches NF alcanzando valores de 0,46 g/kg y 0,38 g/kg respectivamente ( $p= 0,0249$ ). El contenido de Po también fue representativamente mayor en los parches BC que en NF (0,13 g Po/kg y 0,07 g Po/kg respectivamente, con  $p= 0,03$ ). Y se encontró que el contenido de Pi fue significativamente más alto en suelos de parches BC (0,33 g/kg) que en parches de NF (0,3 g/kg)  $p= 0,01$ (Fig. 7). El mayor contenido de Pt en suelo bajo caldén indica que el aporte de material residual por parte de *P. caldenia* tendría incidencia en el contenido de fósforo en el sistema del caldenal.

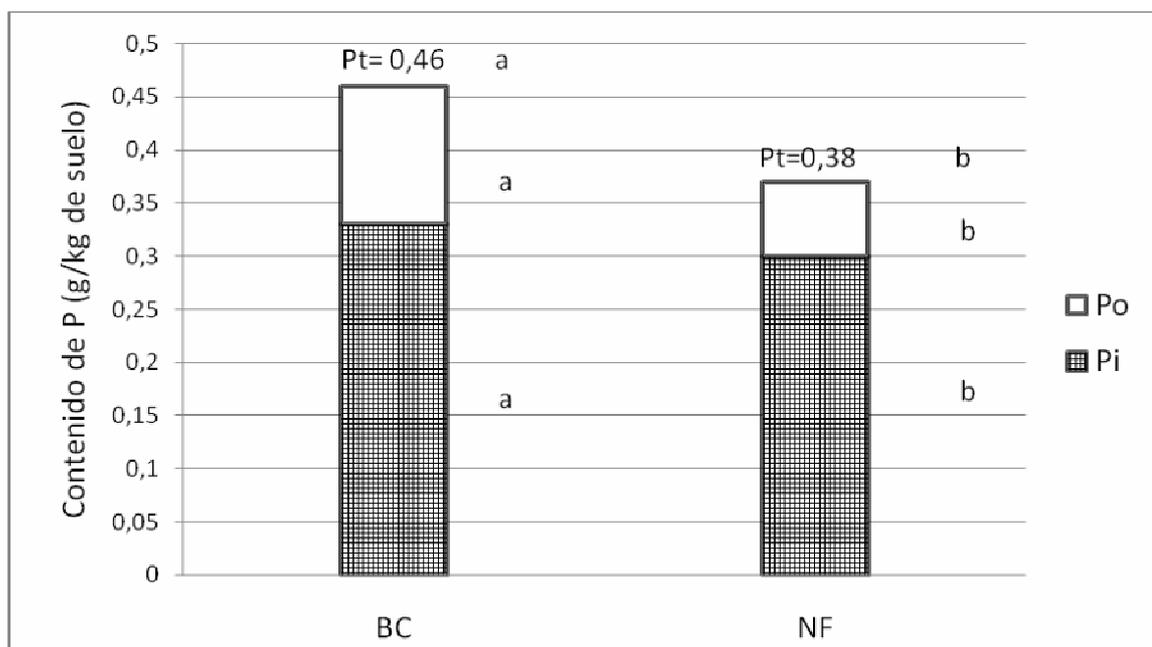


Figura 7. Contenido medio de P en sus distintas fracciones : (Fósforo total (Pt), fósforo inorgánico (Pi) y fósforo orgánico (Po) para suelos con distinta vegetación dominante, parches de vegetación: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p<0,05$ ).

El dosel es una fuente clave de nutrientes en bosques maduros, en diversos bosques se ha encontrado que cantidades significativas de fósforo, como así también de nitrógeno, retornan al suelo a través de los restos de hojas, tejidos reproductivos y ramas finas provenientes de la copa de diferentes especies arbóreas (Laiho & Prescott, 1999). Se comprobó que el contenido de Fósforo disponible (Pd) es significativamente mayor ( $p=0,001$ ) en los parches de vegetación con caldén (BC= 60,8 mg/kg de Pd) que en los parches de no forrajera (NF= 31,56 mg/kg de Pd) (Fig. 8). Esto indica que bajo la influencia del caldén, no sólo es mayor el contenido de fósforo sino que también se ve favorecida su disponibilidad para los vegetales, esto último estaría relacionado con el pH de estos suelos.

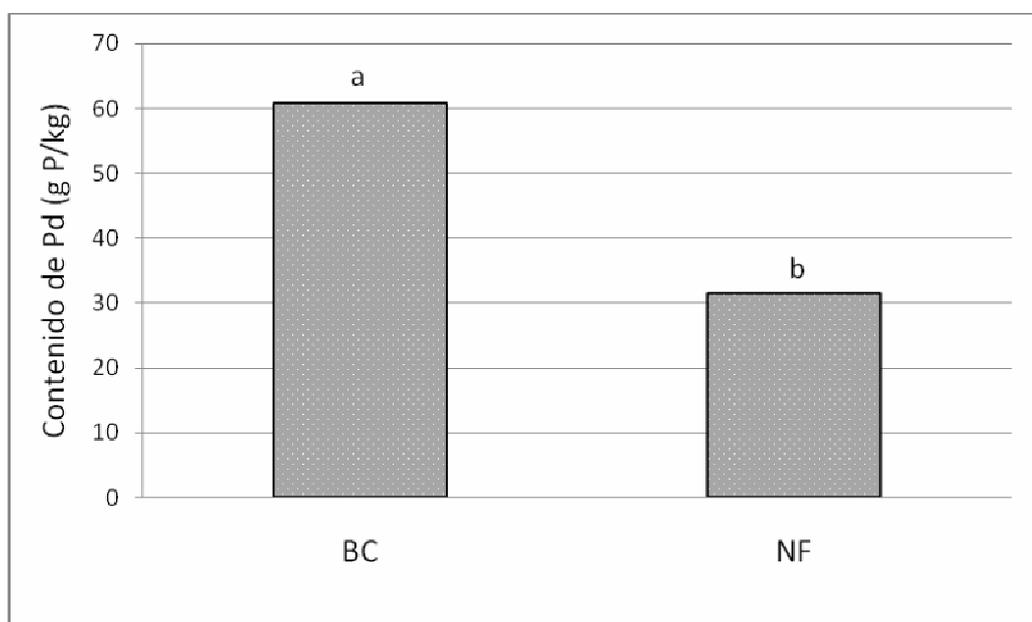


Figura 8. Contenido medio de Fósforo disponible (Pd) de suelos de diferentes parches de vegetación: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes indica diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p<0,05$ ).

## pH

La MOS afecta el pH del suelo debido a los grupos carboxilos y fenólicos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos, que tienden a disminuir el pH (Aguilera, 2000 y Carrasco, 1992). Este estudio comprobó el efecto que tienen los residuos de *P. caldenia* sobre dicha reacción al determinar el pH en agua. Se encontró que el valor de pH del suelo del parche BC fue significativamente menor ( $p= 0,005$ ) que el del NF siendo 5,57 y 6,49 respectivamente (Fig. 9).

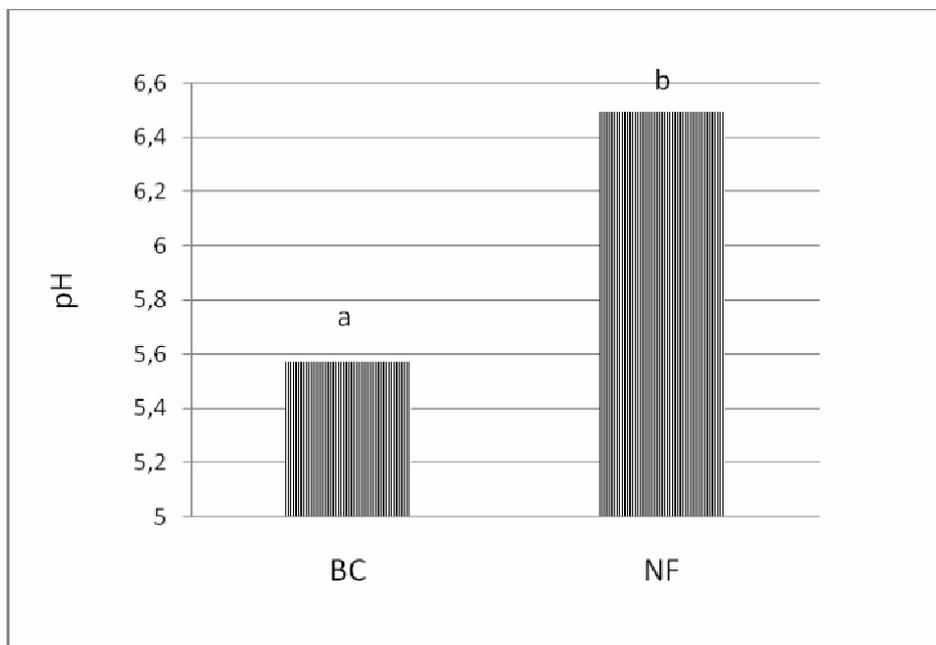


Figura 9. Valores medios de pH en el suelo de dos tipos de vegetación dominante: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los parches de vegetación ( $p < 0,05$ ).

Esto explicaría la mayor disponibilidad de fósforo ya que a menor valor de pH mayor es el contenido de Pd (Fig. 10), situación que se da en los cinco suelos estudiados bajo caldén, en los que el menor valor de pH se debe al mayor contenido de materia orgánica por el ingreso en gran proporción de residuos del árbol (Carrasco, 1992).

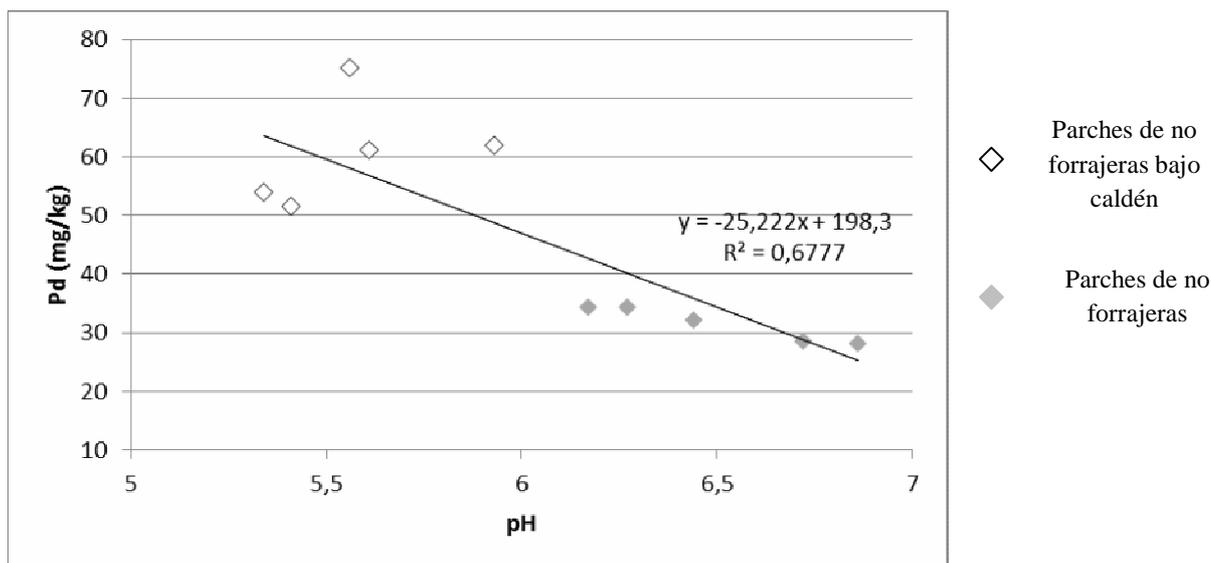


Figura 10. Relación entre fósforo disponible (Pd) y pH en suelos con diferente vegetación dominante: BC (puntos en blanco) y NF (puntos en gris).

### Cationes intercambiables

Se encontraron contenidos significativamente mayores para calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) en el suelo del parche BC que en NF. El contenido de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no presentó diferencia significativa entre los parches ( $p=0,5$ ) (Tabla 1). Esto podría deberse al mayor contenido de materia orgánica, ya que ésta actúa como reservorio de nutrientes (Hepper et al., 2012).

Tabla 1. Contenidos medios de cationes intercambiables (cmol/kg) en dos tipos de vegetación dominante: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p<0,05$ ).

Catión (cmol/kg de suelo)	BC	NF
$\text{Ca}^{2+}$	13,59 a	11,36 b
$\text{Mg}^{2+}$	3,42 a	3,25 a
$\text{Na}^+$	0,65 a	0,54 b
$\text{K}^+$	0,19 a	0,17 b

### Densidad aparente

Se determinó la densidad aparente (DAP) entre parches de diferente fisonomía vegetal. Fue significativamente menor ( $p= 0,001$ ) la DAP en suelos del parche BC que en NF ( $0,78 \text{ g/cm}^3$  y  $0,98 \text{ g/cm}^3$  respectivamente). Esto podría explicarse por los mayores contenidos de MO en

parches de BC que en NF. La materia orgánica disminuye la densidad aparente por dos razones: es mucho más ligera que la fracción mineral y en segundo lugar aumenta la estabilidad de los agregados del suelo (Thompson & Troeh, 1988). Por lo tanto la incorporación de residuos orgánicos debajo de la copa de *P. caldenia* favorecería las condiciones físicas del suelo en cuanto a hacerlo menos susceptible a la compactación y al mantenimiento de la porosidad.

### **Hidrofobicidad**

Para evaluar si la alta repelencia al agua detectada por Hepper et al. (2013) en suelos con vegetación predominantemente no forrajera es debida al aporte de sustancias hidrofóbicas de *P. caldenia*, se estimó la persistencia de la repelencia actual al agua en superficie (RASup) y el grado de repelencia ( $\gamma$ ND) (Dekker y Ritsema, 2000). Los suelos se clasificaron en función de los valores medios de RASup y del  $\gamma$ ND como severamente repelente al agua en los parches BC y no repelentes al agua en los parches NF (Tabla 2). A pesar de la gran diferencia observada en los valores medios de RASup, no se detectaron que fueran estadísticamente significativas, probablemente debido a la alta variabilidad entre las muestras de los parches BC. La alta variabilidad en la persistencia de la repelencia al agua en suelos se debería al alto contenido de raíces que genera canales y a la distribución no uniforme de la materia orgánica en los primeros cm de la superficie del suelo. A pesar de que las muestras fueron tamizadas por 2 mm, existe una variabilidad granulométrica en la distribución de la materia orgánica fresca, generando las diferencias en la repelencia al agua entre los suelos del parche BC (Crockford et al., 1991; Bisdorf et al., 1993; Jaramillo, 1996, 2001a; Mataix-Solera & Doerr, 2004). Por otra parte en la determinación se respetó la aleatoriedad en la distribución de las gotas sobre la superficie del suelo, contribuyendo todo esto a la alta variabilidad en los valores de RASup en las muestras de la misma condición de vegetación (Jaramillo Jaramillo, 2011).

Tabla 2. Clasificación de hidrofobicidad del suelo para dos tipos de vegetación dominante. Resistencia a la penetración de agua en el suelo (WDPT) (Dekker & Jungerius, 1990) y Severidad de repelencia al agua ( $\gamma_{ND}$ ) (Dekker y Ritsema, 1994b; Dekker, 1998) en el suelo de dos tipos de vegetación dominante: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras distintas indican diferencias significativas

Cobertura Vegetal	Humedad (%)	WDPT (s)	Clasificación del suelo en función de la persistencia de la repelencia al agua.	$\gamma_{ND}$ (%)	Clase de grado de repelencia de agua
Arbórea (BC)	10,34(a)	754,32(a)	Severamente repelente al agua.	17,5(a)	Severamente Repelente
No forrajera (NF)	10,84(a)	0,76(a)	No repelente al agua	0 (b)	No Repelente

Los resultados obtenidos, comprueban la hipótesis de que la repelencia al agua en parches de NF bajo cobertura arbórea se debe al aporte de materiales orgánicos hidrofóbicos en difícil grado de degradación provenientes principalmente de los residuos de género *Prosopis* (Jaramillo, 2006; De Bano, 1981; Wallis & Horne, 1992; Doerr et al; 2000), en este caso de *P. caldenia*. Esto contrarresta lo que encontraron Dekker y Ritsema (2000), quienes afirman que hay una clara dominancia de sustancias hidrofóbicas en las hierbas de plantas con hojas repelentes al agua.

Previo a la evaluación de la repelencia al agua del suelo, se determinó la humedad gravimétrica para todas las muestras de los parches mencionados anteriormente. Los contenidos fueron similares entre estos dos tipos de vegetación, sin presentar diferencia significativa (BC: 10,34 % y NF: 10,84 %) (Tabla 2), comprobando que no hay una relación directa entre el grado de repelencia al agua y el contenido de humedad del suelo, es decir, que los suelos menos repelentes al agua no son necesariamente los que conservan mayor cantidad de humedad (Jaramillo Jaramillo, 2011).

### Infiltración y Escurrimiento

En este trabajo se analizó el comportamiento hidrológico de los suelos que contienen sustancias hidrofóbicas. La variación de la intensidad de infiltración fue mayor que la de escurrimiento a lo largo del tiempo (60 min) en las áreas de no forrajeras, los valores iniciales son más altos y luego comienzan a decrecer (Fig. 11). Este comportamiento es típico de suelos humectables y secos en los que el proceso de humedecimiento inicial de los mismos es rápido,

por las altas fuerzas de atracción que se generan entre los sólidos del suelo y el agua (Jaramillo Jaramillo, 2011).

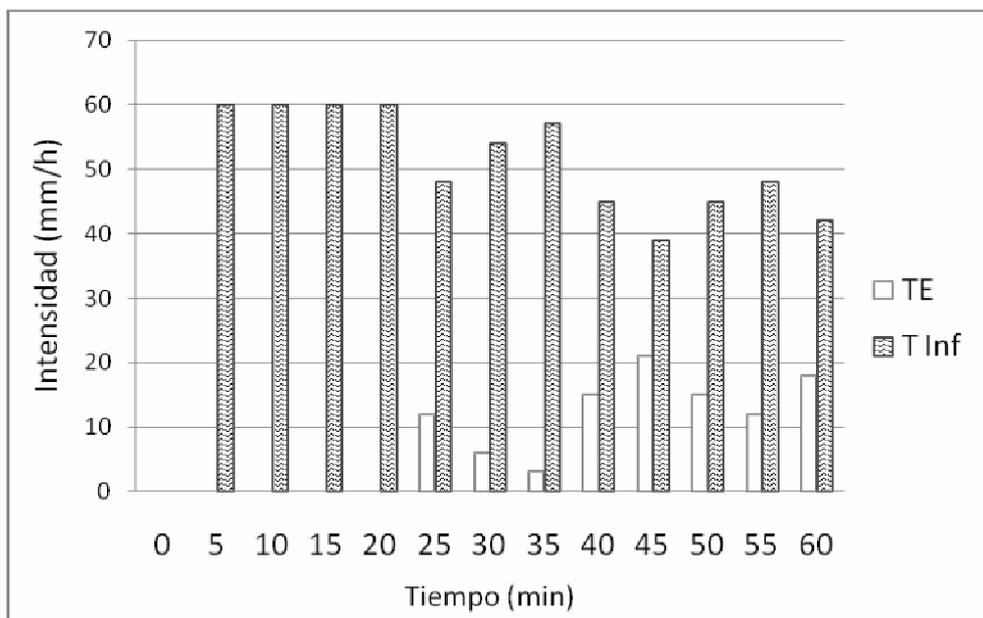


Figura 11. Intensidad de Infiltración y de Escurrimiento (mm/h) del suelo para los parches de no forrajeras.

Para las áreas comprendidas bajo cobertura de *P. caldenia*, la variación de la tasa de infiltración y escurrimiento dieron un comportamiento diferente a la de los parches de no forrajeras, donde hubo en los primeros 5 min una alta tasa de infiltración para luego disminuir y subir al mismo tiempo la tasa de escurrimiento, la que pasó a superar a la primera (Fig. 12).

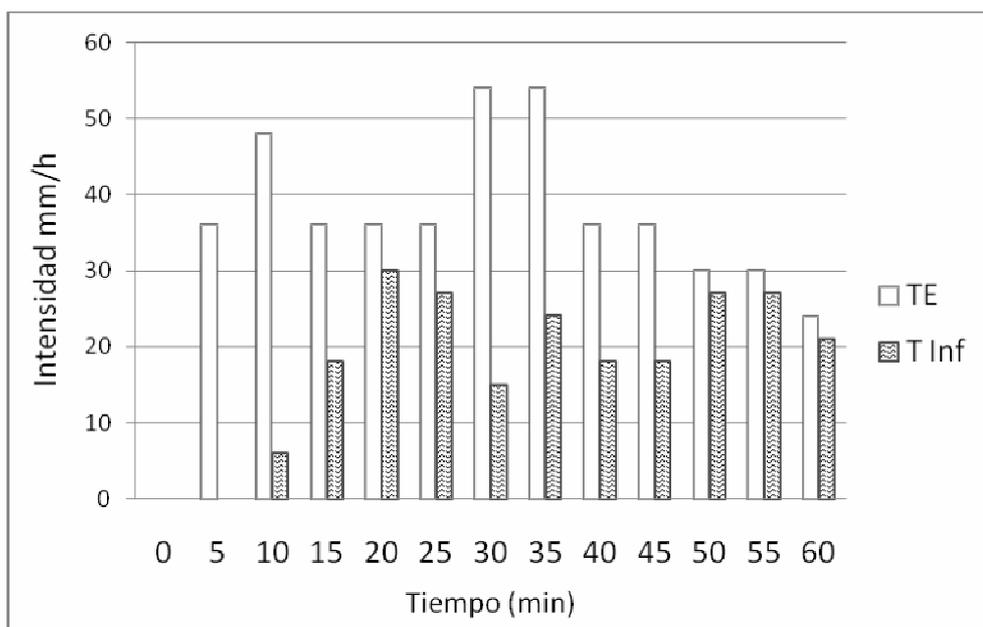


Figura 12. Intensidad de infiltración y escurrimiento (mm/h) del suelo para los parches de no forrajeras bajo caldén.

La hidrofobicidad podría ser uno de los factores determinantes en el comportamiento hidrológico superficial detectado en la superficie de los suelos del parche BC. En suelos que presentan materiales repelentes al agua, el proceso de humedecimiento puede llegar a ser extremadamente lento (Jaramillo Jaramillo, 2011) o bien el agua ingresa al suelo por vías rápidas de infiltración, como grietas y canales de raíces o generados por la mesofauna, produciendo un patrón de humedecimiento irregular (Dekker & Ritsema, 2000) (Fig.13).



Figura 13. Ingreso de agua en los primeros 6 cm del perfil en suelos de parches con predominancia de especies no forrajeras bajo la influencia de *Prosopis caldenia* (BC) y sin cobertura arbórea (NF).

Para analizar estadísticamente lo observado y medido durante los ensayos de infiltración se determinaron la infiltración media (InfM) la que se refiere a la cantidad media de agua ingresada al suelo en un período de 1 hora y la tasa de infiltración final (InfF), definida como la velocidad de la lamina ingresada en los últimos 5 minutos del ensayo. Se encontró que tanto la InfM como InfF fueron mayores ( $p= 0,0001$  y  $p=0,0185$  respectivamente) en suelos de parches NF que en BC (InfM en NF = 57,9 mm/h y en BC = 25 mm/h e InfF = 55,8 mm/h y 37,2 mm/h respectivamente) (Fig.14), corroborando que en suelos hidrofóbicos es menor la velocidad de ingreso de agua. Así mismo se evaluó el coeficiente de infiltración porcentual para los suelos de ambos parches. Para BC fue del 42%, mientras que para NF del 96%, presentando diferencias significativas entre ambos ( $p= 0,0001$ ) (Fig. 15). Wilkinson & Miller (1978) reportaron que en parches con suelo repelente al agua dicha tasa fue solo el 20% de la tasa observada en un suelo hidrofílico adyacente.

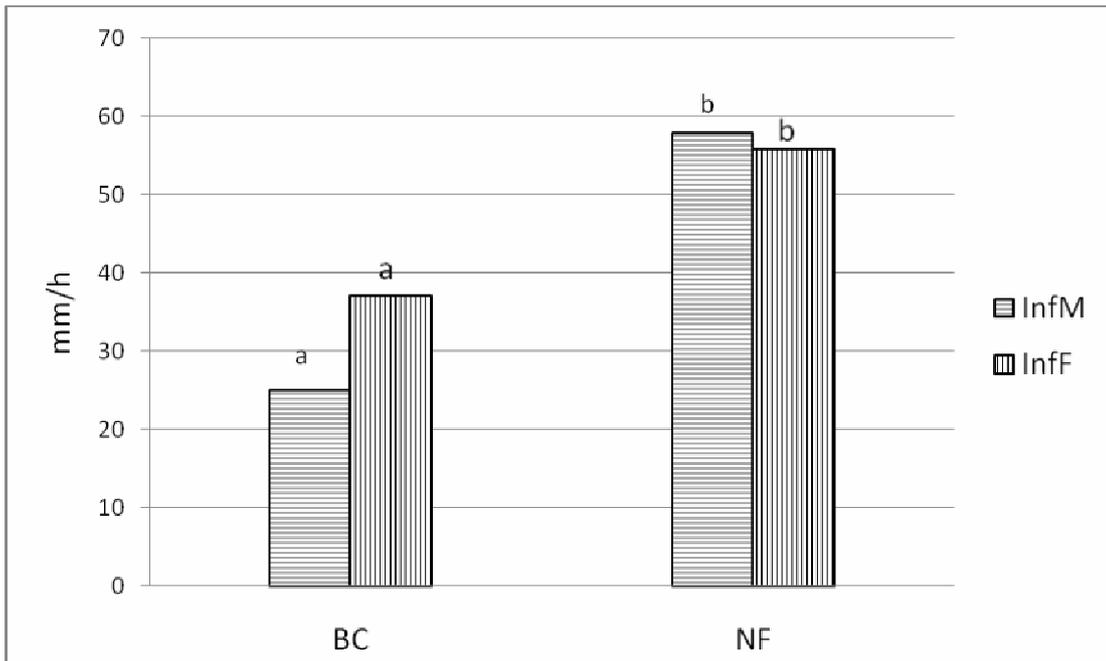


Figura 14. Infiltración media (InfM) e Infiltración Final (InfF) para suelos con diferente vegetación dominante: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p < 0,05$ ).

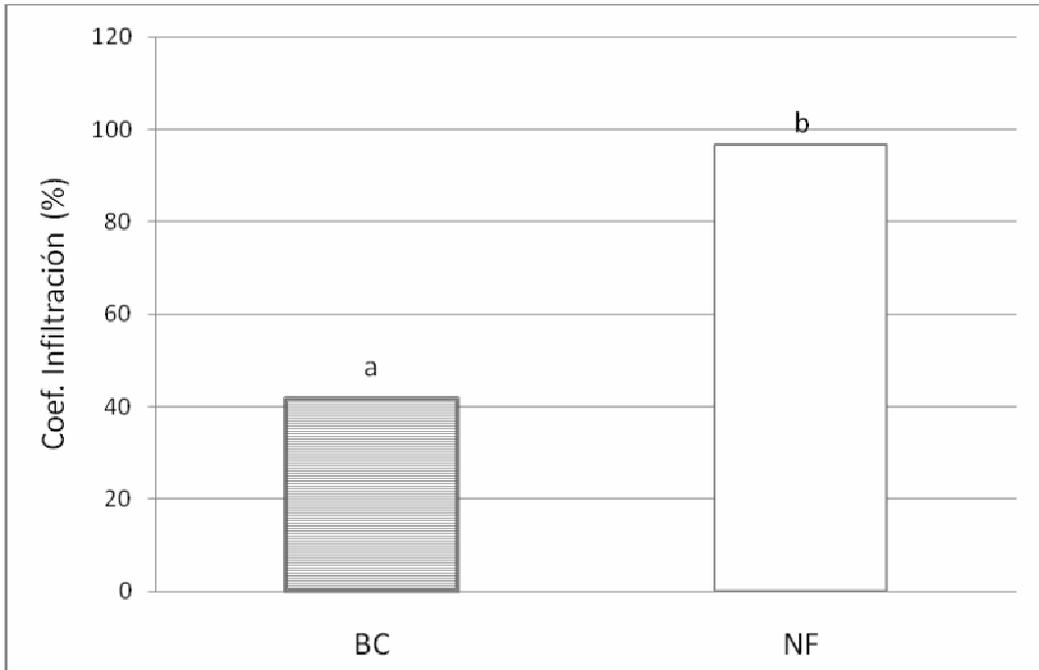


Figura 15. Coeficiente de Infiltración (%) para suelos con diferente vegetación dominante: no forrajera bajo caldén (BC) y no forrajera (NF). Letras diferentes dentro de una misma variable indican diferencias significativas entre los diferentes parches de vegetación ( $p < 0,05$ ).

## Conclusión

Las distintas combinaciones estructurales del bosque pampeano intervienen en las propiedades químicas y físicas del suelo. El aporte de residuos vegetales por parte de *P. caldenia* incide sobre las propiedades edáficas estudiadas. El mayor contenido de materia orgánica en el suelo bajo el dosel de este árbol estaría asociado a la gran generación de residuos provenientes de la biomasa forestal. El contenido de carbono orgánico se encuentra en mayor proporción como material fresco, esto se debería a la mayor cobertura de broza de este suelo y a la sombra de los árboles, lo que le origina una menor exposición a la insolación y menor temperatura, factor que condiciona la transformación del material orgánico por parte de la actividad microbiana. Así mismo, el mayor contenido de materia orgánica lábil, fuente de nutrientes para las plantas y los microorganismos, determina altos contenidos de nitrógeno liviano, fósforo total y cationes intercambiables. Los altos contenidos de nitrógeno total en los suelos bajo las copas de dicho árbol se deberían a la presencia de esta leguminosa. Por otra parte el alto contenido de materia orgánica en el suelo bajo la influencia de *P. caldenia* origina un menor pH, lo que provoca el desplazamiento de los equilibrios de solubilidad de los fosfatos predominantes en estos suelos, aumentando la disponibilidad de fósforo. Se comprueba en este estudio que el ingreso de residuos vegetales de caldén está asociado a superficies de suelo repelentes al agua, y trae a su vez consecuencias sobre la captación y retención de agua en el horizonte superior, en donde la tasa de escurrimiento en los suelos con cobertura arbórea es mayor que la tasa de infiltración. La presencia de hidrofobicidad produce humedecimiento irregular de este suelo, lo que podría condicionar la fertilidad del mismo. En estos suelos sería importante realizar estudios de mineralización de la materia orgánica con el fin de corroborar la incidencia de las superficies repelentes al agua sobre la fertilidad química.

## BIBLIOGRAFIA

- Adema, E. O; Babinec, F. J; Buschiazzo, D. E; Martín, M. J; Peinemann, N. 2003. Erosión Hídrica en suelos del caldenal. Publicación Técnica N° 53, INTA.
- 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.
- Angers D. A., Mehuys, G.R. 1990. Barley and alfalfa cropping effects on carbohydrate contents of a clay soil and its size fractions. *Soil Biol. Biochem.* 22: 285-288.
- Barrows, E. M. 1996. *Animal Behavior Desk Reference*. CRC Press, USA. 672 p.
- Bisdom, E.B.A., Dekker, L.W. and Schoute, J.F. 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma* 56:105-118.
- Bray, R. & Kurtz, L. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Bremner, J. M.; Mulvaney, C.S. 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. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. p. 595-624.
- Brown, S., Lugo, A.E., 1990. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. *Plant Soil* 124. 1. 53-64.
- Buschiazzo D. E.; A. R. Quiroga & K. Stahr. 1991. Patterns of organic matter accumulation in soils of the semiarid Argentinian Pampas. *Z. Pflanzenem. Bodenk.* 154: 347-441.
- Buschiazzo, D. E; G. G Hevia; A. M. Urioste & E. N. Hepper. 2000. Cultivation effects on phosphate forms and sorption in loess soils of Argentina. *Soil Science* 165: 427-436.
- Cambardella C. A. & E. T. Elliot. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Cano, Eduardo. 1988. *Pastizales Naturales de La Pampa. 1. Descripción de las especies más importantes*. Argentina: AACREA. 425 p.; (12) h. plegs.: il.
- Carrasco, M. A., 1992. El suelo como sistema químico. En Vera W (Ed.): *Suelos, una visión actualizada del recurso*. Publicaciones Miscelaneas Agrícolas N° 38, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 345 p.

- Casagrande, G. y Conti, H. 1980. En Inventario de los Recursos Naturales de la La Pampa. INTA
- Crespo, G., Rodríguez, I., Ortiz, J., Torres, V. y Cabrera, C. 2005. El reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-planta-animal. Una contribución al conocimiento científico en Cuba. Editado por: Gustavo Crespo López e Idalmis Rodríguez García. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. 86 p.
- Crockford, H; Topalidis S. y Richardson, D. P. 1991. Water repellency in a dry sclerophyll eucalypt forest- measurements and proceses. *Hydrological Process*. 5: 405-420.
- DeBano, L. F. 1981. Water repellent soils: A state- of- the art. USDA. Forest Service. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. General Technical Report PSW- 46. California 21p.
- DeBano, LF. 2000. The role of fire and heating on water repellency in wildland environments: a review. *J. Hidrology* 231-232:195-206.
- Dekker, L. W. y P. D. Jungerius. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement* 18: 173-183.
- Dekker, L. W. & C. J. Ritsema. 1994b. How water moves in a water repellent sandy soil. I. Potential and actual water repellency. *Water Resour. Res.* 30 (9): 2507-2517.
- Dekker, L. W. 1998. Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. Doctoral thesis. Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 240 p.
- Dekker, L. W. & Ritsema, C.J. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *J. Hidrology* 231-232: 148-164.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.S. and Walsh, R.P.D. 1998. Spatial variability of soil water repellency in fire-prone eucalyptus and pine forest, Portugal. *Soil Science* 163:313-324.
- Doerr, S.H.; Shakesby, R.A.; Walsh, R.P.D.; 2000. Soil water repellency, its characteristics, causes and hydro-geomorphological consequences. *Earth Sci. Rev.* 51: 33-65.
- Esterlich, H.D., Fernandez, B., Morici, E.F., Chirino, C.C. 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.
- Fisher, R.F. 1990. Amelioration of soil by trees. En: Gessel, S.P., Lacate, D.S., Weetman, G.F., Powers, R.F. (Eds). *Sustained Productivity of Forest Soils.* (pags 290–300) Faculty of Forestry, Univ. Of British Columbia, Vancouver, Canada.

- Fisher, R.F. 1995. Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59 \_2., 544–549.
- Galantini, J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Manual “Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios, Cap. IV parte 2 (eds. L Marban y S Ratto) p 95-106. AACCS
- Galantini J. A. 1994. Modelos de simulación de la dinámica de la materia orgánica en suelos de la región semiárida bonaerense. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, UNS, Bahía Blanca. 72 pag.
- Galantini, Juan A.; Iglesias, J.; Landriscini, M.; Suñer, L.; Minoldo, G. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: Juan Alberto Galantini. Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. (pags. 71-95). Ediuns 1ª ed.- Univ. Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Gregorich E; Carter, D. Angers, C. Monreal, B. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74:367-385
- Google Earth 2014. Fecha de visita: 03/04/2014.[www.google.com](http://www.google.com)
- Hepper, EN; Urioste, AM; Belmonte, V y Morici EFA. 2010. Hidrofobicidad inducida por fuego e infiltración de agua en un suelo franco arenoso con diferente vegetación dominante. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Fé. Actas p 16.
- Hepper, EN; Larroulet, MS; Belmonte, V; Urioste, AM; Álvarez Redondo, M; Morici, EFA. 2012. Relación entre propiedades edáficas y vegetación en un suelo del caldenal pampeano. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en CD (ISBN 978-987-1829-11-8).
- Hepper, E.N.; Larroulet, M.S.; Belmonte, V.; Urioste, A.M. 2013. Propiedades edáficas de un suelo del caldenal pampeano en parches con diferente vegetación. *Revista de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.* En prensa.
- Instituto de Botánica Darwinion, 2014. Flora del Conosur. Catalogo de Plantas Vasculares. <http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/Generos.asp>. Fecha de visita: 12/08/2012.
- Irurtia, C.B.; R Mon. 1994. Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Sec. de Agricultura, Ganadería y Pesca Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro de Investigación de Recursos Naturales. Publicación N° 176.

- Jaramillo, J. D. F. 1996. Algunos estudios sobre la repelencia al agua en Andisoles de Antioquia. Trabajo de promoción a profesor titular Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 311p.
- Jaramillo, Jaramillo, D. F. 2001a. Efecto de la repelencia al agua sobre la estructura en los Andisoles. *Revista del ICNE* 7 (1): 71-88.
- Jaramillo Jaramillo, D. F. 2006. Repelencia al agua en suelos: una síntesis. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 30(115):215-232.
- Jaramillo Jaramillo, D. F. 2011. Repelencia al agua en Andisoles de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 220 p.
- Jarvis, S.C. 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use and Management*. 9: 99-104.
- Kaila, A. 1962. Determination of total organic phosphorus in samples of mineral soils. *J. Sci. Agr. Soc. Finland.* 34: 187-196.
- Kolmans, E. y Vásquez, D. 1996. Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación. Maela-SIMAS. Nicaragua. 222 p
- Lahio, R. & C. E. Prescott. 1999. The contribution of coarse woody debris to carbón, nitrogen and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forest. *Can. J. For. Res.* 29: 1592-1603.
- Lerner P. 2004. El Caldénar: dinámica de poblaciones de caldén y procesos de expansión de leñosas en pastizales. En: Arturi MF, Frangi J, Goya JF (eds) *Ecología y Manejo de los bosques de Argentina*. Cap. 11, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Linares Arias, J.C. 2006. Evaluación de algunas propiedades del suelo como indicadores de sostenibilidad para pastoreo rotacional en silvopastoreo en un Endoacuept del valle medio del Río Sinú Colombia. Trabajo de Grado presentado para optar el Título de Magister en Suelos. Convenio Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Universidad de Córdoba.
- Mao, D.M., Min, Y.W., Yu, L., Martens, R., Insam, H., 1992. Affect of afforestation on microbial biomass and activity in soils of tropical China. *Soil Biol. Biochem.* 24 \_8, 865 -872.
- Martínez Gamiño, M. A. 2002. Alternativas de preparación del suelo para cultivos de riego en la zona media potosina. INFIPAP, San Luis de Potosí, Mx. Folleto Técnico N° 17

- Mataix-Solera, J. & Doerr, S. H. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire- affected pine forest in southeastern Spain. *Geoderma* 118: 77-88.
- Morici, E.F.A.; Doménech-García, V.; Gómez-Castro, G.; Kin, A.; Saenz, A. & Rabotnikof, C. 2009. 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. A.; Dussart, E López, G. y Álvarez Redondo, M. 2011. Informe anual de Actividades del Proyecto “Elaboración de pautas de Manejo Sustentable del Bosque de Caldén en el Establecimiento Bajo Verde”. Facultad de Agronomía de La UNLPam.
- Morici, E. F. A., R. Ernst., A. Kin, D. Estelrich, M. Mazzola, y S. Poey. (2003). Efecto del pastoreo en un pastizal semiárido de Argentina según la distancia a la aguada. *Archivos de Zootecnia* 52: 59-66.
- Peña Zubiarte C., D. Maldonado Pinedo; H. Martínez y R. Hevia. 1980. Suelos - En: *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Prov. de La Pampa - INTA -UNLPam* (pags.300-301)
- Picone, L. I. & Zaummer, E. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. En *INPOFOS: Simposio de fósforo: “Enfoque sistémico de la fertilización fosfórica”* (pags.11-16).
- Prescott, C. E. 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology* 22, 1193- 1200. Heron Publishing- Victoria, Canada.
- Prinsely, R.T. & Swift, M.J. 1986. Amelioration of soils by trees; a review of current concepts and practices. Commonwealth Science Council, London, UK.
- Quiroga, A. y Bono, A.A. 2008. Capítulo III. En: Quiroga, A. y Bono, A.A (Eds.) *Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos*. (pags. 23-34) EEA. INTA Anguil.
- Roberto, Z.; Adema, E.; Rucci, T. 2005. Relevamiento fisonómico de la vegetación en el área del Caldenal. *Publicación Técnica N°60*, INTA.
- Sánchez Cárdenas, S.; Crespo, G.; Hernández, M. y García Y. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos y Forrajes*, Vol. 31, No. 2
- Sanchez, P.A. 1987. Soil productivity and sustainability in agro-forestry systems. In: Stepler, H.A., Nair, P.K.R. \_Eds., *Agroforestry: A Decade of Development*. ICRAF, Nairobi, Kenya, pp. 205–223.

- SayDS. 2007. Primer Inventario Nacional de bosques Nativos. Segunda etapa. Inventario de Campo de la Región del Espinal. Distritos del Caldén y Ñandubay. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR
- Studdert, Guillermo. A; Dominguez, G.; Eiza, M.; Videla, C. y Echeverría, H. 2008. Materia orgánica particulada y su relación con la fertilidad nitrogenada en el sudeste bonaerense. En: Juan Alberto Galantini (Ed.) Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. (pags. 53-69) Ediuns1ª ed. Univ. Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Suñer, L. G.; Galantini, J. A.; Rosell, R. A. 2008. Transformaciones del fósforo en las fracciones orgánicas en suelos naturales y cultivados. En: Juan Alberto Galantini (Ed.) Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. (pags. 53-69) Ediuns1ª ed. Univ. Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Thompson, L. M. & Troeh, F. R. 1988. Los suelos y su fertilidad. Reverté 4ª ed. McGraw- Hill Book Company, New York USA.
- 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. Actas p. 125.
- Universidad Nacional de Córdoba, Estadística y Biometría, F. C.A. 2010. Infostat, Software estadístico. Versión Estudiantil.
- Vásquez, Mabel 2008. Incidencia de la vegetación sobre aspectos cuantitativos y cualitativos de la materia orgánica del suelo. En: Juan Alberto Galantini. Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. (pags. 263-292). Ediuns 1ª ed.- Univ. Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Walkley, A & 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.
- Wilkinson, J. F. & Miller, R. H. 1978. Investigation and treatment of localized dry spots on sand golf greens. Agron. J. 70: 299- 304.
- Wallis, M. G. & Horne, D. J. 1992. Soil water repellency. Advances Soil Sci. 20: 91-146.
- Wilson, T.; Paul, E.; Harwood, R. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. Applied Soil Ecology 16 (1): 63-76.
- Young, A. 1997. Agroforestry for soils management. Segunda edición CAB International Wallingford, UK.