



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

CARBONO RETENIDO EN LA BIOMASA VEGETAL EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL OESTE CHAQUEÑO

Modalidad Tesina

Este trabajo pertenece a la Beca de pre-grado otorgada por Resolución N° 0814/2012 C.S., con informe final aprobado.

Proyecto acreditado en el que se inserta:

PI A 007 – 2009 – 2012. Medición de la captura de carbono en sistemas pastoriles representativos del Nordeste Argentino.

Asesor: Ing. Agr. Mgter. Aldo Ceferino BERNARDIS

Alumno: Santiago Ignacio RIGUERESMAN VITARELLO

RESUMEN

En los sistemas silvopastoriles, el contenido de carbono, nitrógeno y fósforo en suelo varían en función de la profundidad, debido a diferencias en cantidad de raíces de las diferentes especies, a la cobertura de suelo, a la especie acompañante, entre otros.

El objetivo del trabajo fue evaluar el contenido de carbono, nitrógeno y de fósforo a diferentes profundidades en sistemas silvopastoriles en el oeste chaqueño.

El estudio se realizó en un área triangular de aproximadamente 250.000 hectáreas ubicadas en la porción centro-oeste de la provincia del Chaco, en la zona comprendida por las localidades de Castelli, Concepción del Bermejo y Río Muerto (61° 06' Longitud Oeste y 26° 30' Latitud Sur). Caracterizada por establecimientos rurales con un 50 % de cobertura forestal, que además presentan otros usos de la tierra agrícolas, ganaderos y silvopastoriles.

Los UT (tratamientos) a ser evaluados en este estudio a través de parcelas de muestreo, serán los siguientes:

1. Sistema silvopastoril con Pastura implantada de *Panicum maximum* cv. Gatton panic.
2. Pastura implantada de *Panicum maximum* cv. Gatton panic.
3. Campo agrícola: cultivo de soja (rotación de gramíneas) con siembra directa
4. Bosque nativo.

En cada UT el muestreo se realizará a lo largo de una transecta, donde se realizó 2 calicatas de 1 m de profundidad. Cada UT constituyó un tratamiento, se tuvieron 4 tratamientos en total. En cada calicata se muestreó los estratos de 0 - 0,05 m; 0,05 - 0,15 m; 0,15 - 0,3 m; 0,3 - 0,6 m.

Para calcular el recurso forestal se usó la fórmula de Brown (1997) $\ell = \exp \{-1,996 + 2,32 \cdot \text{LN}(D)\}$

Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA y comparación de medias con Test de Duncan, utilizando el software estadístico InfoStat

El contenido de carbono en $\text{Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ para los diferentes usos del suelo, no presenta diferencias significativas entre el uso de suelo Sistema Silvopastoril y el Bosque Nativo, hallándose diferencias significativas entre estos y el Campo Agrícola.

En cuanto al recurso forestal, el uso de suelo que mayor contenido de C almacenó fue el BN ($142,48 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$) por sobre el SSP ($114,48 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$), diferenciándose significativamente estos tratamientos ($p \leq 0,05$).

Respecto al componente C en raíces de los árboles, fue mayor el almacenamiento en BN ($43,54 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$), diferenciándose significativamente ($p \leq 0,05$) del valor obtenido del SSP ($37,09 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$).

En referencia al C almacenado en hojarasca, el tratamiento SSP fue el que mayor reservorio presentó ($0,94 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$), diferenciándose significativamente ($p \leq 0,05$) del tratamiento de CA y BN ($0,55$ y $0,23 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ de carbono respectivamente).

En cuanto al contenido de N, la tendencia en los usos de suelo analizados fue superior en los primeros 0,05 m de suelo. A medida que aumenta la profundidad, disminuye el contenido de N en suelo.

La mayor cantidad de P acumulado se encontró en los primeros 0,05 m de suelo. El uso que mayor contenido de P presentó en el primer estrato fue el SSP.

Palabras clave: Stock de C, N y P, sistema silvopastoril, bosque nativo, oeste chaqueño.

CARBONO RETENIDO EN LA BIOMASA VEGETAL EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL OESTE CHAQUEÑO

Introducción

El dióxido de carbono (CO₂), según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), es uno de los gases atmosféricos con mayor contribución relativa al efecto invernadero (IPCC, 2001).

Cambios en el uso de la tierra como el aumento de la deforestación y la expansión de las áreas cultivadas durante las últimas décadas, generaron cambios importantes en la composición de la atmósfera incrementando las emisiones acumuladas de CO₂ del suelo a la atmósfera.

Es importante señalar que no todos los cambios en el uso de la tierra son negativos desde el punto de vista de emisiones de CO₂. Por ejemplo, estudios efectuados en zonas de bosques tropicales de Latinoamérica (Ibrahim *et al.*, 2007; Mannetje *et al.*, 2008) indican que algunos cambios en el uso de la tierra resultan en fijación neta de CO₂ (es decir que la cantidad de C que se fija o secuestra es mayor que las emisiones de CO₂), estos son:

- a) conversión de pastizales naturales poco productivos a bosques bien manejados,
- b) conversión de pastizales naturales poco productivos a pasturas implantadas (incluyendo especies más productivas y/o adecuadamente fertilizadas),
- c) algunos casos de crecimiento secundario de bosques naturales intervenidos por el hombre, que cuando están bien manejados pueden igualar o superar la fijación de CO₂ con respecto al bosque nativo original.
- d) algunos casos de crecimiento secundario de bosques naturales que por conversión a sistemas silvopastoriles con pasturas mejoradas bien manejados pueden igualar la fijación de CO₂ con respecto al bosque nativo original.

Se han efectuado pocas investigaciones en nuestros pastizales, sistemas silvopastoriles, bosques, entre otros, en la región a evaluar como potenciales sumideros de C, y son menores aún, los que evalúan el efecto de distintos usos de la tierra y el manejo de los mismos. No existe suficiente información sobre la acumulación de C en la biomasa radical ni sobre el stock de C que poseen los usos de la tierra (UT) más comunes en la región de estudio.

Los sistemas pastoriles y silvopastoriles, si son manejados en forma amigable con el ambiente, representan usos de la tierra con alta capacidad para capturar carbono. A su vez, esos usos de la tierra bajo manejo amigable con el ambiente representan opciones más rentables para los productores ganaderos de Costa Rica y Colombia que cuando se los maneja en forma convencional (Gobbi *et al.*, 2005).

Las pasturas degradadas pueden emitir C a la atmósfera, mientras que las pasturas mejoradas con árboles son usos de la tierra con mayor potencial para secuestro de C en el suelo. En estudios de COS realizados en campos ganaderos en Costa Rica, en usos de la tierra con áreas dominadas por pastizales y pasturas mejoradas con árboles y sin ellos, encontraron que las pasturas degradadas presentaron menor cantidad de COS a 1m de profundidad que el pastizal con alta densidad de árboles y menor que la pastura mejorada sin árboles, con valores de 21,7; 121 y 139 Tn.ha⁻¹ respectivamente (Ibrahim *et al.*, 2007).

El concepto de Pago por Servicios Ambientales últimamente ha recibido mucha atención como herramienta innovadora para financiar inversiones en manejo sostenible de tierras en varios países de América Latina. A nivel de cuencas hidrográficas, los

servicios hidrológicos son particularmente relevantes: productores en la parte alta de las cuencas pueden recibir incentivos importantes a través de compensaciones para cuidar la calidad y cantidad de agua que aprovechen los usuarios en la parte baja de las cuencas (Gobbi, 2005). Otros servicios son la protección de biodiversidad, el almacenamiento de carbón y la protección de la belleza del paisaje natural. Sin embargo, hay importantes desafíos a abordar como el monitoreo y la valorización de los servicios, y la sustentabilidad de los mecanismos de pago.

El uso de la tierra (UT) inicial condiciona significativamente los cambios en las existencias de carbono en el uso futuro del suelo. No se producirá la misma fijación de C en un lugar si el uso inicial fue un cultivo, un pastizal o un bosque. Hay que tener en cuenta que, aparte del uso inicial del suelo, el nivel de degradación del mismo y el contenido de materia orgánica al inicio de la actividad del uso, podrán condicionar directamente la pérdida o ganancia de C orgánico del suelo en el uso futuro, por ello, es importante conocer el historial de uso del lugar (Salinas y Hernández, 2008).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar la acumulación de carbono en biomasa aérea, raíces y suelo en los sistemas silvopastoriles.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Comparar la acumulación de carbono, nitrógeno y fósforo en el sistema silvopastoril, respecto al sistema agrícola y bosque nativo.
- Determinar el carbono en la biomasa aérea y radical de pastizal, pasturas implantadas y sistema silvopastoriles.
- Determinar el stock de carbono, nitrógeno y fósforo en suelo en distintos estratos hasta 0,6 m de profundidad.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

- La acumulación de carbono en biomasa aérea y radical es mayor en un sistema silvopastoril con pastura implantada que en el mismo sistema con pastizal, bosque nativo y sistema agrícola.

ANTECEDENTES:

Los usos de la tierra (UT) más comunes en la zona centro oeste de la provincia del Chaco son: uso forestal (bosque nativo) que cambia a uso silvopastoril (bosque nativo y pastizal natural), uso forestal (bosque nativo) que cambia a uso agrícola (cultivos de soja bajo sistema de siembra directa con diferentes rotaciones de gramíneas), uso ganadero (con pastizal natural) que cambia a pastura mejorada (*Panicum maximum* cv Gatton panic), uso ganadero (con pastizal natural) que cambia a uso agrícola.

Utilizando la variabilidad de UT que existe en la zona, nos permitió estimar qué ocurre con la acumulación de carbono (C) cuando se parte del pastizal natural (control), y se va cambiando gradualmente en el tiempo por medio de la introducción de gramíneas subtropicales como *Panicum maximum* cv Gatton panic, implantadas mediante rolado y la quema (Kunst *et al.*, 2003), hasta llegar a un UT agrícola con monocultivo de soja bajo sistema de siembra directa, o la rotación de ésta con cultivos forrajeros.

MATERIALES Y MÉTODOS:

El estudio se llevó a cabo en un área triangular de aproximadamente 250.000 hectáreas ubicadas en la porción centro-oeste de la provincia del Chaco, en la zona comprendida por las localidades de Castelli, Concepción del Bermejo y Río Muerto (61° 06' Longitud Oeste y 26° 30' Latitud Sur). Caracterizada por establecimientos rurales con un 50 % de cobertura forestal, que además presentan otros usos de la tierra agrícolas, ganaderos y silvopastoriles.

La región chaqueña tiene un relieve llano con suave pendiente hacia el sureste. Se distinguen dos zonas: oriental y occidental. En la primera, con lluvias abundantes, predominan los suelos arenosos y arcillosos, en donde los albardones y terrazas altas constituyen zonas fértiles; mientras que las zonas anegadas de esteros y lagunas sólo son aptas para la ganadería. En la zona occidental seca predominan los suelos calcáreos, y en ella se incluye la zona de estudio (Ledesma, 1973).

El clima es subtropical continental, cálido con estación seca marcada en invierno. La temperatura media es de 21,5 °C, con máximas de 46 °C en verano y mínimas de 6 °C en invierno. Las precipitaciones medias anuales son de 700 mm a 800 mm y corresponden a un régimen periódico pluvial estival. Los materiales que dieron origen a los suelos en la zona de estudio son de tipo sedimentario (materiales transportados por el viento y/o el agua). En el sector centro - oeste del área estudiada el material es resultante de un transporte mixto eólico-hídrico. Estos materiales son denominados limo-loésicos. (Zurita, 2007).

Los UT (tratamientos) a ser evaluados en este estudio a través de parcelas de muestreo, serán los siguientes:

1. Sistema silvopastoril con Pastura implantada de *Panicum maximum* cv. Gatton panic.

La especie forestal incluida en el sistema de manejo silvopastoril, fue *Prosopis nigra*, con una densidad de 140 árboles ha⁻¹, en un arreglo forestal en franjas de 4x4 o 5x5 en algunos de los lugares muestreados, tomando el criterio de la uniformidad del lote, y considerando todos los árboles con un dap > 10cm.). La edad de los sistemas estaba comprendida entre 15 y 18 años, al momento del muestreo.

2. Pastura implantada de *Panicum maximum* cv. Gatton panic.
3. Campo agrícola: cultivo de soja (rotación de gramíneas) con siembra directa
4. Bosque nativo.

Las especies más representativas del bosque nativo son: *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado santiagueño), *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco), *Ziziphus mistol* (mistol), *Prosopis ruscifolia* (itín), *Schinus molle* (molle), *Celtis tala* (Tala), que tienen un arreglo natural (dado por la competencia inter específica en el bosque nativo sin intervención del hombre) considerando que los bosques de la zona evaluada provienen del raleo de especies por el aprovechamiento de la madera en el bosque nativo. La edad de estos BN era, al momento del muestreo de entre 30 y 50 años.

En cada UT el muestreo se realizará a lo largo de una transecta, donde se realizarán 2 calicatas de 1 m de profundidad. Cada UT constituirá un tratamiento, se tendrán 4 tratamientos en total. En cada calicata se muestrearán los estratos de 0 - 0,05 m; 0,05 - 0,15 m; 0,15 - 0,3 m; 0,3 - 0,6 m. Esta profundidad fue definida en base a resultados obtenidos por (Céspedes Flores *et al.*, 2012) y además según las referencias bibliográficas a partir de esa profundidad del perfil de suelo, el carbono almacenado es menos susceptible a cambios y su modificación es a largo plazo, tal como lo fundamentan diversos autores (Piñeiro *et al.*, 2006; FAO 2001; IPCC 2001).

En cada UT se estudió el contenido de C en biomasa aérea y raíces, como así también se estimará el contenido de materia orgánica y de C orgánico total y activo en el suelo.

En la biomasa de raíces en cada estrato muestreado en la calicata, las raíces gruesas y finas divisibles a simple vista, serán separadas manualmente de las muestras de suelo y las raíces más finas hasta 2 mm serán separadas de la muestra de suelo por lavados y utilizando tamices con malla de 2 mm (Acosta *et al.*, 2001; Etchevers *et al.*, 2002), y las raíces < 2 mm se excluirán por no diferenciarse de hojas o de MO del suelo (IPCC 2001; Rüginitz *et al.*, 2009; Trumper *et al.*, 2009). Luego de limpiar las raíces se llevaron a estufa a 65 °C hasta peso constante para determinar MS. El cálculo de contenido de C en la biomasa de raíces se realizó multiplicando la MS del total de raíces en cada estrato de suelo por 0,45 (IPCC, 2001):

$$C = B * 0,45;$$

Dónde:

C = Contenido de Carbono (Tn.ha⁻¹);

B = Biomasa radical (TnMS.ha⁻¹);

0,45 = Constante (proporción de C, asumido por convención en la biomasa vegetal de pastizales).

La biomasa aérea se muestreó por el método de la (AOAC, 1990) por medio de cuadros estandarizados realizando cortes a nivel del suelo, y el cálculo de carbono retenido en la misma se realizó de manera similar al carbono retenido en raíces.

En el suelo, se determinó los contenidos de materia orgánica, C orgánico total y activo en las diferentes profundidades mencionadas anteriormente. Para ajustar el contenido de C en el suelo se determinó la Densidad Aparente (DA) del mismo. Para ello, se utilizó en los distintos estratos un cilindro de volumen conocido, denominado cilindro de Kopecky (Prause, 2006). Se determinó el contenido de C en suelo por el método de Walkley&Black (1934), calculando según Da Silva *et al.*, (2004).

$$C = \text{Conc} * \text{BD} * T$$

Dónde:

C = contenido de C (Tn.ha⁻¹)

Conc = contenido de C en la muestra en (g.tn⁻¹)

DA = densidad aparente de suelo (Tn.M⁻³)

T = profundidad de la muestra (m)* 10⁻³ (Tn.kg⁻¹) * 104 (m².ha⁻¹)

El C activo se determinó en las muestras de suelo por el método de Weil *et al.*, (2003).

Para estimar la biomasa aérea de los bosques se usan generalmente dos métodos: métodos directos destructivos y métodos indirectos que realizan simulaciones a partir de información básica de inventarios. La elección del modelo para estimar la biomasa es crucial, para evitar errores en la estimación. Varios autores sugieren utilizar ecuaciones generadas localmente, sin embargo cuando no se dispone de éstas, se pueden emplear ecuaciones ya existentes, generadas en condiciones climáticas y edáficas similares a la de la zona de estudio, especialmente cuando se han validado con datos de cosecha (Vásquez *et al.* 2012).

Para desarrollar el presente trabajo se consideraron diferentes ecuaciones alométricas, en las que se toma como valor importante el DAP (diámetro a la altura del pecho). Entre ellas se analizaron la de IPCC (2005) $B = \exp[-2.289 + 2.649 * \ln(\text{DAP}) - 0.021 * \ln(\text{DAP}^2)]$, y la de Chave *et al.* (2001) $\ln B = [-2.19 + 2.54 * \ln(\text{DAP})]$

Dónde:

B= Biomasa

DAP= Diámetro a la altura del pecho

Pero ninguna de éstas dos fue utilizada para los cálculos de biomasa aérea del recurso forestal, ya que son usadas generalmente para ambientes como bosques húmedos tropicales, condiciones que no se presentan en el ambiente en estudio.

De todos los componentes de la biomasa, el mayor aporte al total de un sitio dado lo hace la fracción leñosa arbórea aérea, denominada densidad de biomasa y definida como la cantidad total de materia orgánica viva aérea presente en los árboles, incluyendo hojas, ramas, tronco principal y corteza, y medida como masa (tonelada de peso seco) por unidad de área (generalmente hectárea) (Brown, 1997).

El contenido de carbono para el recurso forestal se determinó midiendo in situ, con cinta métrica, las circunferencias de cada uno de los individuos presentes en una superficie de 500 m² en los diferentes usos de suelo, llevando luego este valor a Ha. Luego se transformó ese valor a DAP. Ese valor se usó en la fórmula de Brown (1997) $\ell = \exp \{-1,996 + 2,32 * \ln(D)\}$, obteniendo así la BA (kg/árbol).

Dónde:

D= DAP.

Con la suma de cada valor calculado por individuo, en los diferentes usos de suelo, se calculó la BAT (biomasa aérea total) en la superficie medida y luego se llevó ese valor a su equivalente de C, multiplicando por 0,5, dándonos el valor de C en Tn-ha-1.

El contenido de nitrógeno en suelo, a las distintas profundidades se determinó mediante el método Kjeldahl (Bateman, 1970) y titulación con H₂SO₄.

El contenido de fósforo en suelo, a las distintas profundidades se determinó mediante el método de Olsen (1954), que consiste en la determinación colorimétrica del fósforo extraído del suelo mediante una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) 0,5 M a pH 8.5.

Con las variables respuestas correspondientes y los respectivos tratamientos se realizó un ANOVA y las medias se compararon con un test de Duncan al 0,05 %, utilizando el software estadístico InfoStat (2009).

RESULTADOS Y DISCUSION:

-Acumulación de carbono

El contenido de carbono en Tn.ha^{-1} para los diferentes usos del suelo, no presenta diferencias significativas entre el uso de suelo SSP y el BN, encontrándose si diferencias significativas entre éstos y el CA, (fig. 1 y tabla 1).

El SSP presentó mayor contenido de C en el componente suelo, aunque no fue diferente del almacenado en el sistema BN (tabla 2). En SSP se puede explicar que es debido a la acción conjunta de sus dos componentes, la pastura de *P. maximum* cv Gatton panic y *Prosopis spp.* En Costa Rica, (Andrade *et al.* 2008), compararon la captura de carbono en potreros sin árboles con un sistema silvopastoril y encontraron valores de captura de carbono de $3,5 \text{ Tn C.ha}^{-1}$ en potreros sin árboles, y $12,5 \text{ Tn C.ha}^{-1}$ en sistemas silvopastoriles; estos resultados indican que los sistemas silvopastoriles son un potencial para la captura de gas carbónico. Y el valor que se obtuvo para el sistema BN puede deberse al gran aporte de C que queda fijado en el componente arbóreo. Se puede observar en la tabla 3, el DAP promedio y la BA en kg/árbol promedio en SSP. (En “Tabla Anexo” se pueden ver las especies medidas, DAP, y BA en kg/árbol)

En cuanto al recurso forestal se puede observar en la tabla 4, que el uso de suelo que mayor contenido de C almacenó fue el BN ($142,48 \text{ Tn.ha}^{-1}$) por sobre el SSP ($114,48 \text{ Tn.ha}^{-1}$), diferenciándose significativamente estos tratamientos ($p \leq 0,05$). En el sistema del BN fue mayor la cantidad de especies presentes en los mismos y muchas con $\text{DAP} \geq 0,30 \text{ m}$, de la misma forma que se encontraban mayor número de individuos de diferentes especies.

Respecto al componente C en raíces de los árboles (tabla 5), fue mayor el almacenamiento en BN ($43,54 \text{ Tn.ha}^{-1}$), ya que su valor se desprende de aplicar la fórmula de KURZ, diferenciándose significativamente ($p \leq 0,05$) del valor obtenido del SSP ($37,09 \text{ Tn.ha}^{-1}$).

Para ver si estos valores son razonables, se realizó la relación entre Biomasa Radical/Biomasa Aérea (BR/BA) y los valores observados son cercanos al 30%, valor esperado para zonas semiáridas (Dixon 1995).

En referencia al C almacenado en hojarasca (tabla 6), el tratamiento SSP fue el que mayor retención presentó ($0,94 \text{ Tn.ha}^{-1}$), diferenciándose significativamente ($p \leq 0,05$) del tratamiento de CA y BN ($0,55$ y $0,23 \text{ Tn.ha}^{-1}$ de carbono respectivamente). El SSP se diferenció significativamente del tratamiento BN, debido a que para la biomasa de hojarasca en el muestreo en el SSP el mayor aporte lo realiza la pastura de *Panicum maximum*, ya que las especies de árboles del BN no realizan un aporte significativo de hojarasca debido a que son árboles en general xerófilos.

El potencial de los sistemas agroforestales (suelos y biomasa) para almacenar carbono puede variar entre 20 y 204 Tn.ha^{-1} , estando la mayoría de este C almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre $1,8$ y $5,2 \text{ Tn.ha}^{-1}$ (Ibrahim *et al.* 2007).

En este estudio se observó que el SSP respecto del BN, no presentó mucha diferencia en cuanto a los valores obtenidos de C, en similitud a lo descrito por Trumbmore *et al* (1995), que dice que el C del suelo en las tierras de pastoreo es estimado en 70 Tn.ha^{-1} , cifra similar a las cantidades almacenadas en los suelos forestales (Trumbmore *et al.*, 1995; Balesdent y Arrouays, 1999).

-C en biomasa aérea

Los pastizales y las pasturas mejoradas contribuyen a mitigar el cambio climático global almacenando Carbono en la biomasa y en el suelo por el proceso de la fotosíntesis y el ciclo del Carbono (Conant *et al.*, 2005).

En este estudio se encontraron diferencias significativas en cuanto a la acumulación de biomasa aérea en los 3 usos en estudio. El SSP fue el que mayor contenido presentó y el que menor valor presentó fue el pastizal natural (fig. 2).

Con respecto a la biomasa vegetal, las mayores ganancias de C son claramente capitalizadas en mayores acumulaciones de biomasa en los troncos de los árboles y en menor medida en las raíces más gruesas de los árboles, cuya vida media es mucho mayor que la de las plantas herbáceas (Jobbágy & Jackson, 2000).

El mayor contenido de C en la biomasa aérea en el SSP por sobre el pastizal natural puede deberse a lo mencionado por Fisher, en los pastizales, una de las medidas que puede incrementar en buena medida la captura de C es la introducción de especies forrajeras más productivas, con sistemas radicales más profundos, y altamente persistentes al pastoreo, ya que éstas pueden almacenar muy altas cantidades de C en forma estable (Fisher *et al.*, 1994).

De todas formas estos valores son menores a los obtenidos por Bernardis *et al.*, (2005) quienes encontraron un contenido de C de $1,84 \text{ Tn.ha}^{-1}$ en un ecosistema de pastizal de *Sorghastrum setosum*.

Valores de contenido de C menores también fueron hallados por Da Silva *et al.*, (2004) en pastura nativa y en *Brachiaria decumbens*, siendo de $0,615 \text{ Tn.ha}^{-1}$ y de $0,42 \text{ Tn.ha}^{-1}$ respectivamente, bajo pastoreo en la zona de El Cerrado, Brasil. Así mismo, Etchevers (2002) en México, encontró valores de contenidos de C menores en pastizales dedicados al pastoreo, de $2,18 \text{ Tn.ha}^{-1}$. Esto podría deberse, según Da Silva *et al.*, (2004), a que tanto la pastura nativa como la cultivada se encontraban bajo un proceso de degradación y como consecuencia la captura de C fue menor. En este trabajo, al momento de realizar una toma de muestras, en el año 2013, toda la zona en la que se desarrolló el mismo, se hallaba frente a una fuerte sequía de aproximadamente 12 meses, motivo por el cual el material recolectado fue mucho menor.

-C en biomasa radical

La utilización de forraje por grandes herbívoros acentúa el interés de conocer el efecto del pastoreo sobre la dinámica de las raíces.

En este trabajo se observó que el SSP acumuló mayor cantidad de C en las raíces y presentó diferencias significativas con respecto a los otros dos tratamientos. El uso que menor valor mostró fue el Pastizal natural, como puede verse en la fig. 3.

La literatura disponible es muy variable en el contenido de C en raíces y a veces contradictoria, ya que en unos casos señalan un efecto negativo del pastoreo sobre las raíces, en magnitud que puede variar en función de la intensidad del pastoreo; y en otros se reporta un efecto benéfico del pastoreo sobre el sistema radical de pastizales, porque estimula el crecimiento del sistema radical al movilizar reservas de fotoasimilados para este fin (Doll y Deregibus, 1986).

El contenido de humedad en el suelo y la textura en el perfil, entre otros, podrían ser algunos de los factores que indujeron alta variabilidad en la presencia de raíces en el presente estudio, como también señalaron (Mannetje *et al.*, 2008), y por ende el de C almacenado en raíces en los sitios de muestreo. Vale mencionar que la zona de pastizales donde se muestro, se halla en zona de paleocauces, terrenos donde en la

antigüedad circulaban ríos por la zona, y son estos lugares donde se suele acumular agua en las épocas de lluvias, hecho que no se sucedió al momento de un muestreo, ya que era período de sequía.

-Stock de C en suelo en distintos estratos de profundidad

A partir de aquí, el estudio se explica siguiendo el orden de los objetivos específicos que se plantearon en un comienzo, analizando los stocks existentes de los diferentes elementos según los estratos de profundidad considerados.

En los usos de suelo analizados las dos primeras profundidades presentaron diferencias significativas, respecto a las otras, en cuanto a la cantidad de C acumulado (fig. 4).

Cabe mencionar que estos valores se expresan según el espesor de los estratos, el primer estrato tiene una profundidad de 5 cm, el segundo 10 cm, el tercero 15 cm y el cuarto posee 30 cm de profundidad.

En un análisis por profundidad entre usos de suelo, puede verse que, en el estrato superior, el único que presentó diferencias significativas fue el pastizal natural (fig. 5). Los usos de suelo que mayor contenido presentaron en todas las profundidades fueron el sistema silvopastoril (SSP) y pastura implantada (PI).

La supremacía de la acumulación de C en usos como SSP y PI por sobre el pastizal natural se aprecia tal como lo señaló Fischer (1994), que confirman la superioridad de las pasturas mejoradas sobre las naturales, en las sabanas de los llanos Orientales colombianos donde el secuestro de C fue mayor en los sistemas con pasturas mejoradas (*B. brizantha*, *Panicum maximum*, *Cynodon dactylon*) que en los pastos nativos *H. rufa*, *Paspalum notatum* y *P. virgatum*.

Si se analiza la acumulación de C en el uso BN, puede verse que entre el primer y segundo estrato analizado, existe una diferencia significativa, lo cual puede deberse a la acumulación y mineralización de las hojas y ramitas caídas al suelo. Esa caída y por lo tanto la acumulación sobre el suelo se obedece a cambios estacionales, y es consecuencia de la fenología del bosque, (LEWIS, 1991).

Zhou *et al.*, (2007) encontraron que en usos del suelo con pastizales y cultivo, los primeros 0.2 m de profundidad contienen 80 % del C y N del suelo y que 60 % de la MO se almacena sobre los primeros 0,3 m de suelo; estos autores no observaron diferencias estadísticas en cuanto al almacén de C entre 0,6 y 1 m de profundidad. Los valores de almacén de C en el perfil de suelo a 1 m son similares a los hallados en algunos trabajos de (Fisher *et al.*, 1994), ya que a esta profundidad el C almacenado en suelo es menos susceptible a cambios y su modificación es a largo plazo, como lo fundamentaron varios autores (IPCC 2001, FAO 2002 y Piñeiro *et al.*, 2006), motivo por el cual en este estudio se obvió el estrato mayor a 0,6 m.

-Stock de N en distintos estratos de profundidad

La tendencia en los usos de suelo analizados fue que la mayor cantidad de N acumulado se encontró en los primeros 0,05 m de suelo (fig. 6). A medida que aumenta la profundidad, disminuye el contenido de N en suelo.

En un análisis por profundidad entre usos de suelo, puede verse que, en el estrato superior, los usos que mayor contenido presentaron fueron el SSP, PI y BN, y valores menores en el Pastizal y CA (fig. 7).

El uso que el mayor contenido de N presentó en el primer estrato fue el SSP, debido al aporte de materia orgánica que se generan a partir de la caída de hojas de los árboles, excretas de animales, hojarasca, entre otros, mucho mayor que en el Pastizal. Según

Mahecha (1998), los principales elementos en estos sistemas son el nitrógeno, el calcio, fósforo y magnesio, demostrando así la ventaja que representa el manejo de gramíneas acompañadas con árboles y/o arbustos leguminosos, ya que, una fracción representativa de los nutrientes extraídos de la porción edáfica son retornados a ella, lo que repercute en una mayor producción y calidad nutricional del forraje.

En todos los estratos, los usos que mayor contenido de N presentaron fueron el SSP y la PI, de forma similar con el contenido de C, lo que nos da una idea de la relación que tiene este elemento con la mineralización de la MO y el reciclado de nutrientes, ya que ocurre a través de la senescencia de biomasa aérea y la muerte de raíces, tanto de las leñosas como del estrato herbáceo.

-Stock de P en distintos estratos de profundidad

La tendencia en los usos de suelo analizados fue que la mayor cantidad de P acumulado se encontró en los primeros 0,05 m de suelo (fig. 8), mostrando diferencias significativas con los demás estratos. Esa fue la profundidad a la que se encontraba la mayor cantidad de MO en descomposición, valores que coinciden con los de C y N en suelo.

En la figura 9 puede verse que, el uso que mayor contenido de P presentó en el primer estrato fue el SSP.

En todos los estratos, el uso que menor contenido de P presentó fue el pastizal natural, debido a encontrarse en cercanías de paleocauces.

A partir de los 15 cm de profundidad, el uso de suelo que presentó mayor contenido de P es el BN, debido a que, en este tipo de sistemas, los nutrientes presentan un ciclo en los primeros centímetros de profundidad, y se acumulan tanto en la madera que se forma en los árboles como en el suelo a profundidad.

CONCLUSIONES

En el área de estudio y en las condiciones de éste estudio, se concluye que:

La acumulación de carbono, nitrógeno y fósforo en el bosque nativo es mayor que en el sistema silvopastoril y que en el sistema agrícola, en sus diferentes componentes (suelo, raíces, biomasa aérea, biomasa radical)

En el sistema silvopastoril, el contenido de carbono en la biomasa aérea y radical fue mayor que en el sistema pastura implantada y que en el pastizal.

En los usos de suelo analizados, tanto el stock de carbono, nitrógeno y fósforo acumulados, fue mayor en los primeros 0.05 m de suelo.

Con los resultados obtenidos se puede afirmar que no se cumplió con la hipótesis planteada: en la acumulación de carbono en la biomasa aérea, raíces y suelo, no existe diferencia entre el sistema bosque nativo en comparación con el sistema silvopastoril con pastura implantada, y si entre estos y el campo agrícola.

CUADROS, GRAFICOS:

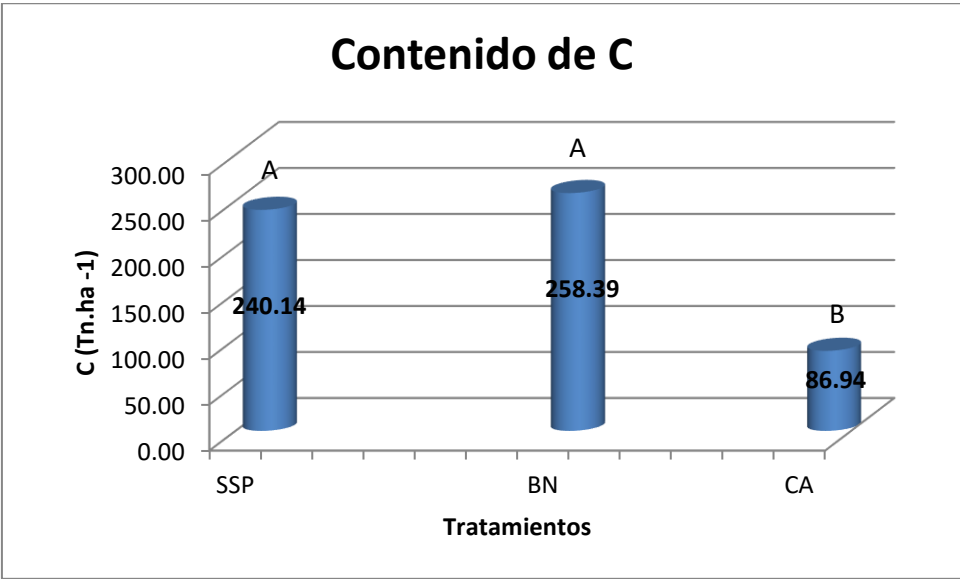


Figura 1 Contenido de C en Tn.ha⁻¹, en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Uso de Suelo	Tot C Tn.ha-1	
SSP	a	240,14
BN	a	258,39
CA	b	86,94

Tabla 1 Contenido de C en Tn.ha⁻¹, en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

		C Tn.ha-1	X C Tn.ha-1
SSP	0-0,05	241,53	16,10
	0,05-0,15	285,84	17,86
	0,15-0,30	356,86	22,30
	0,30-0,60	313,54	31,35
		1197,77	a 87,62
BN	0-0,05	166,20	11,08
	0,05-0,15	215,41	15,39
	0,15-0,30	214,86	19,53
	0,30-0,60	261,33	26,13
		857,80	b 72,13
CA	0-0,05	227,87	14,24
	0,05-0,15	245,90	16,39
	0,15-0,30	256,79	19,75
	0,30-0,60	288,06	36,01
			a 86,40

Tabla 2 Contenido de C en suelo en Tn.ha⁻¹, en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

	DAP Promedio	BA (Kg/árbol) Promedio
SSP	19,82	161,31

Tabla 3. DAP promedio y BA promedio por árbol, en sistemas silvopastoriles, en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco.

	C Tn.ha-1 Arboles
SSP	30,07
	19,76
	14,66
	49,99
	b 114,48
BN	39,49
	36,80
	41,72
	24,47
	a 142,48
CA	

Tabla 4 Contenido de C en árboles en Tn.ha⁻¹, en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

	C Tn.ha-1 Raices
SSP	9,81
	7,50
	6,20
	13,58
	b 37,09
BN	11,68
	11,16
	12,10
	8,60
	a 43,54
CA	

Tabla 5 Contenido de C en raíces de árboles en Tn.ha⁻¹, en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

	C Hojarasca
SSP	0,94
	a 0,94
BN	0,23
	c 0,23
CA	0,55
	b 0,55

Tabla 6 Contenido de C en raíces de árboles en Tn.ha⁻¹, en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Uso de Suelo	Especie	DAP	BA (kg/árbol)
SSP	Itin	36,92	587,90
	Itin	37,56	611,68
	Itin	23,87	213,75
	Q.B	24,83	234,11
	Q.B	17,51	104,09
	Q.B	25,46	248,27
SSP	Q.C.C	38,52	648,37
	Q.C.S	31,51	407,04
	Molle	10,19	29,63
	Molle	18,46	117,74
SSP	Q.B	24,83	234,11
	Q.B	17,51	104,09
	Q.B	25,46	248,27
SSP S1	Algarrobo	27,69	301,61
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	18,78	122,50
	Algarrobo	22,28	182,13
	Algarrobo	16,55	91,39
	Algarrobo	14,01	62,03
	Algarrobo	15,92	83,44

	Algarrobo	16,23	87,36
	Algarrobo	12,73	49,72
	Algarrobo	13,37	55,68
	Algarrobo	20,37	147,94
	Algarrobo	12,41	46,88
	Algarrobo	21,01	158,89
	Algarrobo	22,28	182,13
	Algarrobo	12,73	49,72
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	17,19	99,75
SSP S2	Algarrobo	20,05	142,64
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	26,74	278,03
	Algarrobo	19,74	137,44
	Algarrobo	19,74	137,44
	Algarrobo	18,78	122,50
	Algarrobo	18,46	117,74
	Algarrobo	15,60	79,62
	Algarrobo	13,69	58,80
	Algarrobo	20,05	142,64
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	20,69	153,36
	Algarrobo	14,96	72,28
	Algarrobo	14,64	68,76
	Algarrobo	12,73	49,72
	Algarrobo	21,65	170,29
	Algarrobo	23,24	200,76
	Algarrobo	18,46	117,74
	Algarrobo	23,24	200,76
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	30,56	378,99
	Algarrobo	20,37	147,94
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	21,65	170,29
	Algarrobo	8,28	18,30
	Algarrobo	8,28	18,30
	Algarrobo	11,78	41,49
	Algarrobo	15,92	83,44
	Algarrobo	19,10	127,37
	Algarrobo	14,96	72,28
	Algarrobo	42,65	821,56
	Algarrobo	15,92	83,44
	Algarrobo	15,92	83,44
	Algarrobo	13,37	55,68

	Algarrobo	13,37	55,68
	Algarrobo	13,37	55,68
	Algarrobo	14,32	65,34
	Algarrobo	19,42	132,35
	Algarrobo	20,37	147,94
	Algarrobo	15,60	79,62

Tabla-Anexo. Especies analizadas en SSP, con su respectivo DAP y BA (kg/árbol) en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco.

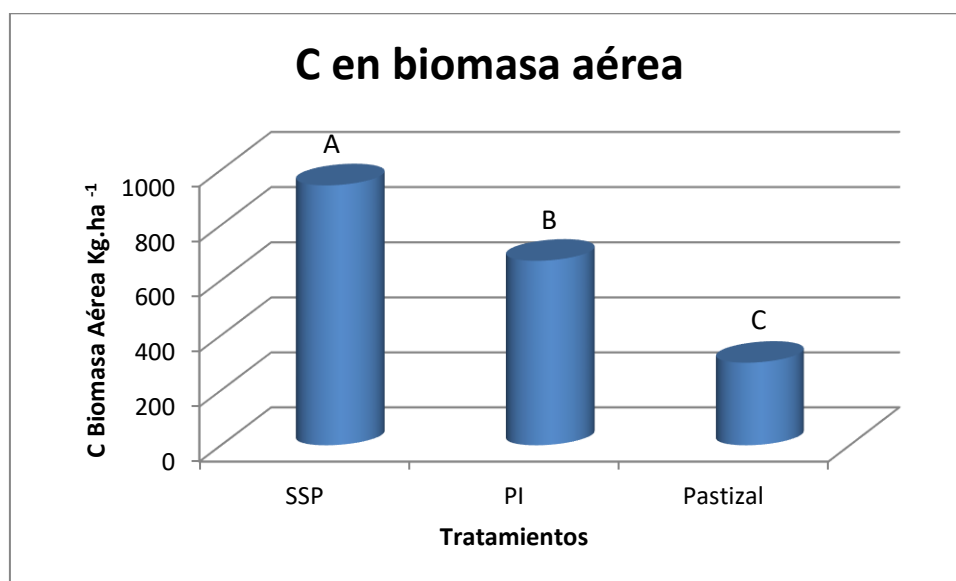


Figura 2 Contenido de C en biomasa aérea en Kg.ha⁻¹, en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

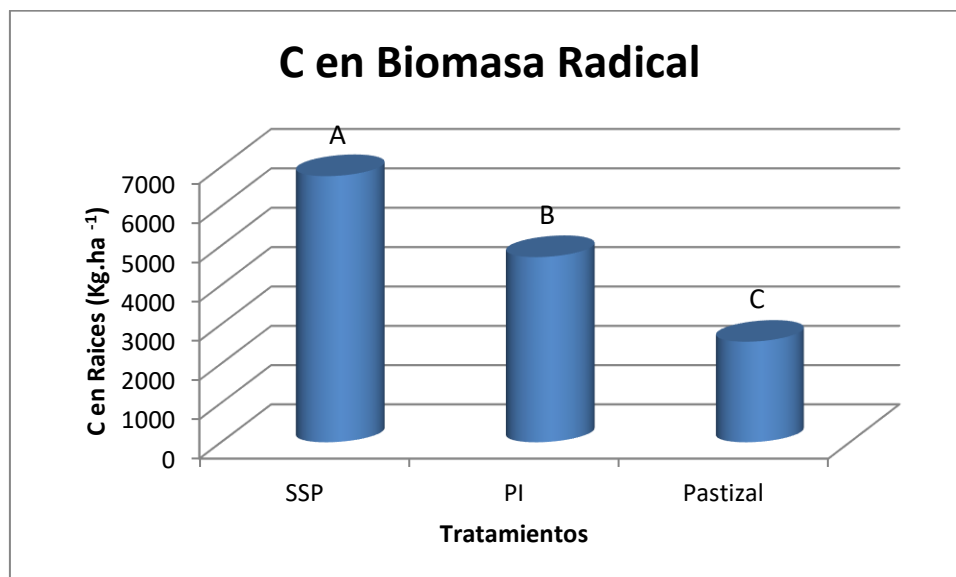


Figura 3 Contenido de C en biomasa aérea en Kg.ha⁻¹ en diferentes usos en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

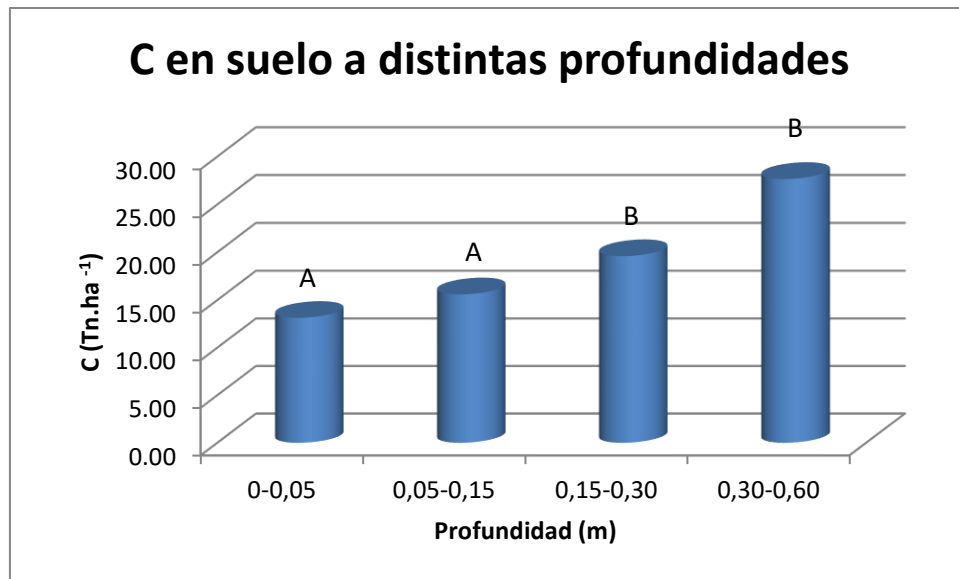


Figura 4 Contenido de C en suelo en (Tn.ha⁻¹) en diferentes profundidades en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

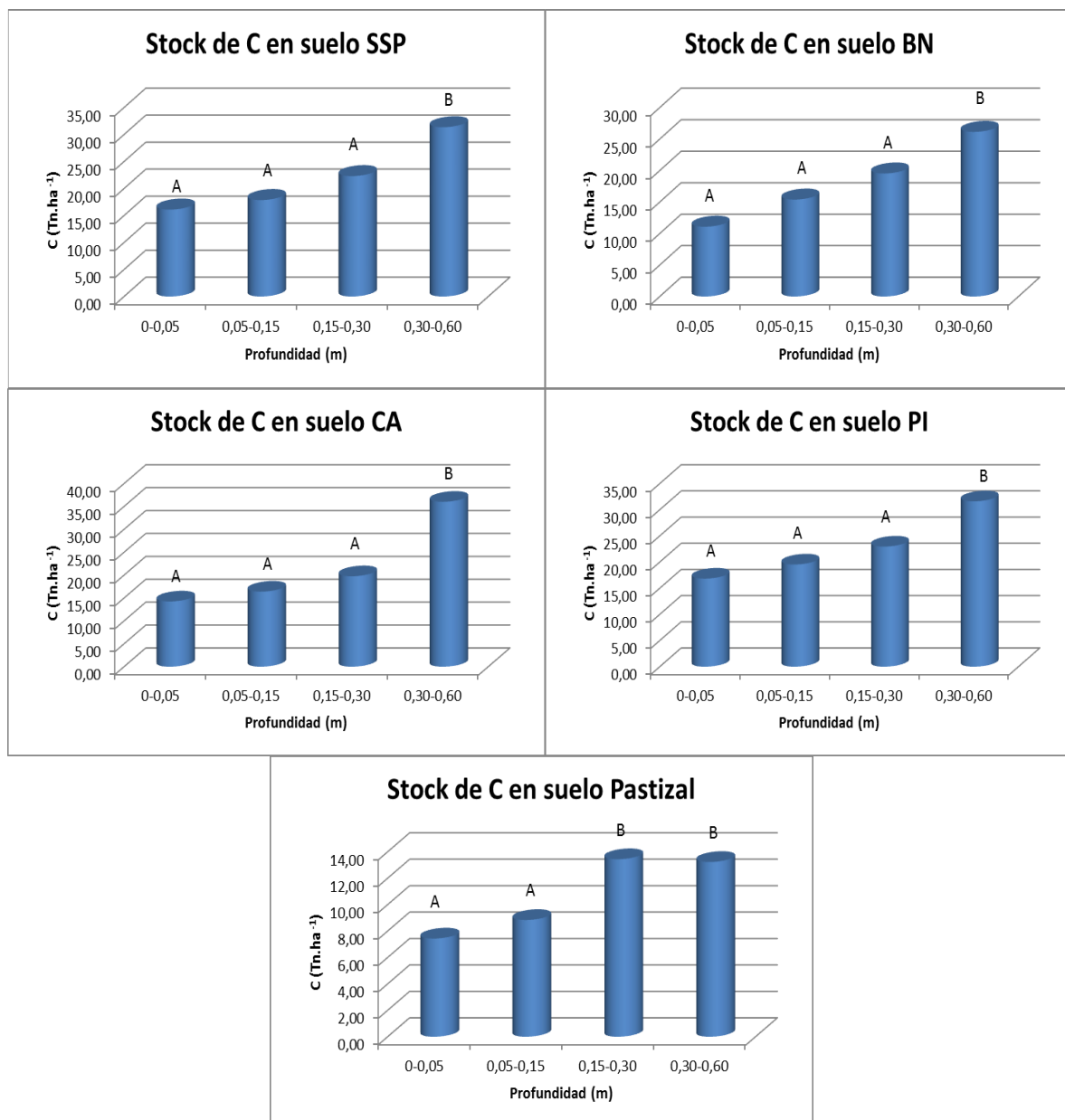


Figura 5 Contenido de C en suelo en (Tn.ha⁻¹) en diferentes usos a diferentes profundidades en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

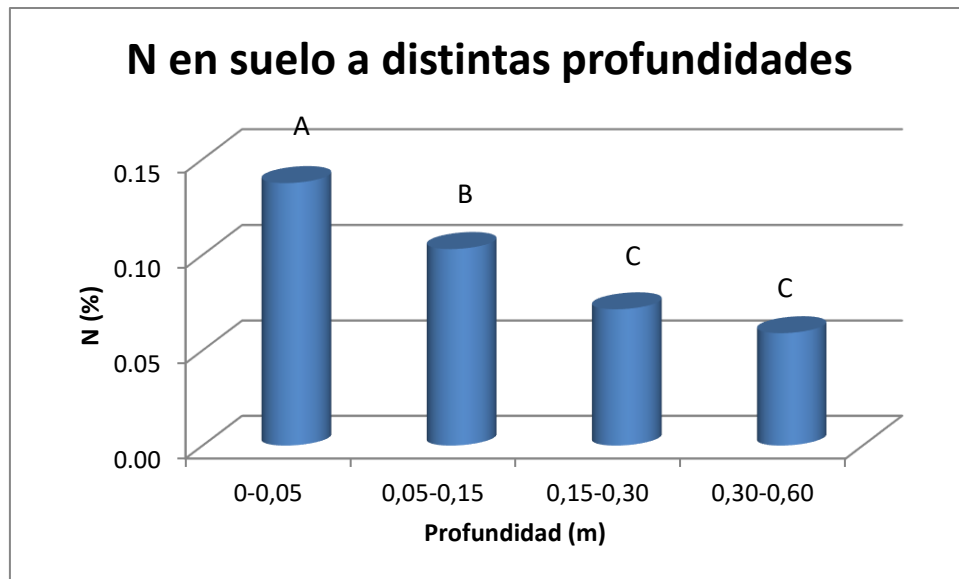


Figura 6. Contenido de N en suelo en (%) en diferentes profundidades en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

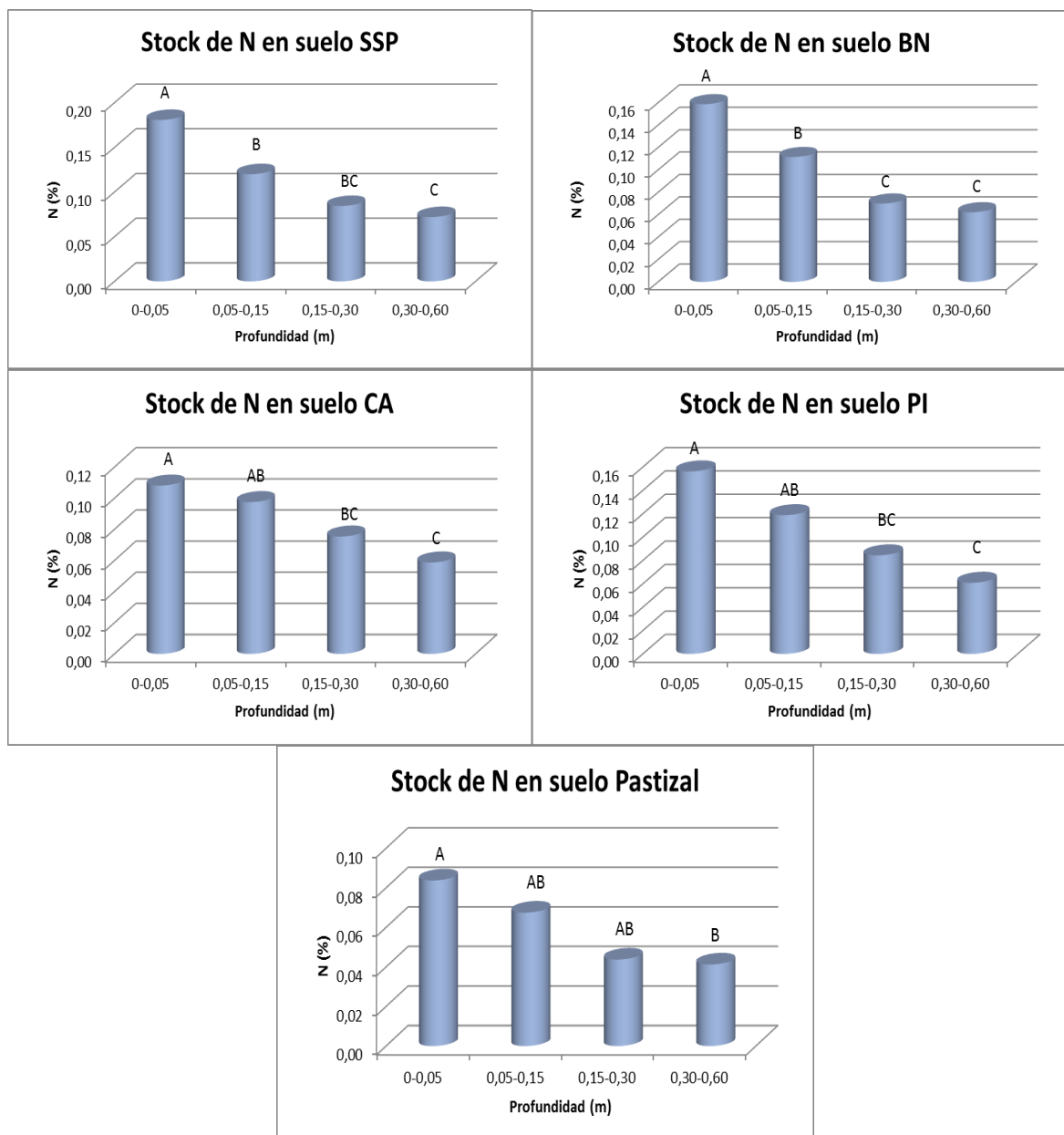


Figura 7. Contenido de N en suelo en (%) en diferentes usos a diferentes profundidades en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

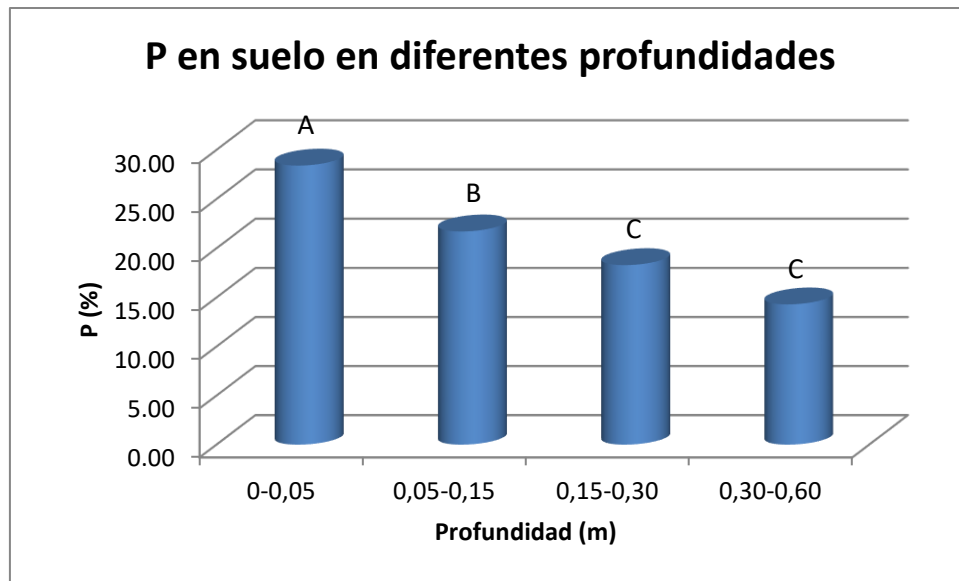


Figura 8. Contenido de P en suelo en (ppm) en diferentes profundidades en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

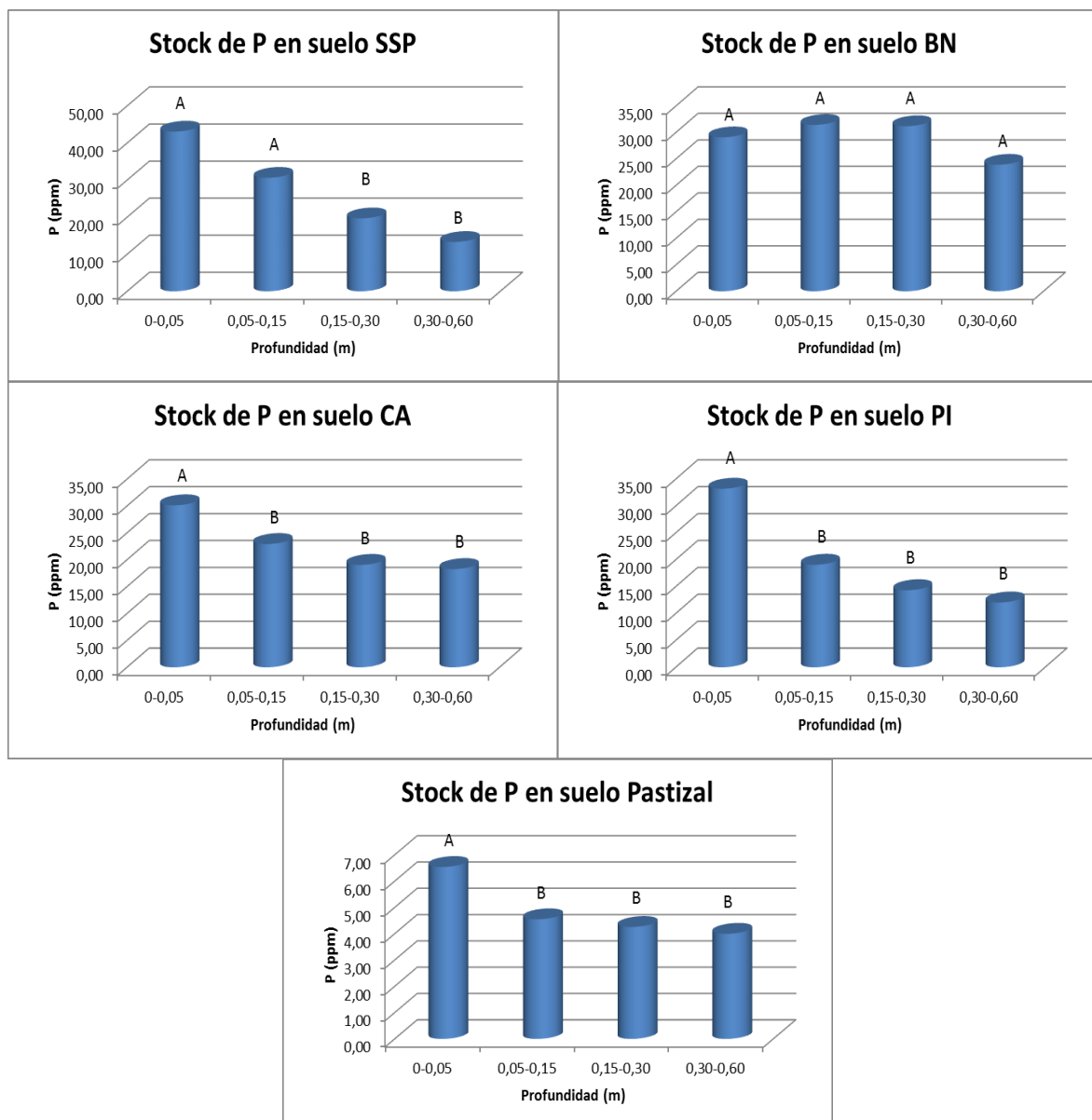


Figura 9. Contenido de P en suelo en ppm, en diferentes usos a diferentes profundidades en el centro-oeste de la Pcia. del Chaco. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Bibliografía

- AOAC. 1990. Official methods of analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Acosta, M.; Etchevers, J.D.; Monreal, C.; Quednow, K. y Hidalgo, C. 2001. Un método para la medición del Carbono en los compartimentos subterráneos (raíces y suelo) de Sistemas Forestales y Agrícolas en terrenos de Ladera en México. Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.
- Andrade HJ, Brook R, Ibrahim M. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant Soil* 2008;308:11-22.
- Balesdent J., Bernard E., Arrouays D. & Chenu C. 1998. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence. *Plant and Soil* 201, 49-57.
- Bateman, J.V. 1970. 468 pag. "Nutrición animal. Manual de métodos analíticos". Editorial Herrero, México D.F.
- Bernardis, A.C.; Roig, C. y Bennasar Vilches, M. 2005. Productividad y calidad de los pajonales de *Sorghastrum setosum* (Grises.) Hitchc. en Formosa, Argentina. *Agricultura Técnica (Chile)*. Vol. 65 N° 2.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. *FAO Montes* 134. Roma, Italia. 55 p.
- Bugarín J. O. 2012 La interacción suelo, planta, animales en un sistema silvopastoral Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera a Compostela km 9, Xalisco. Nayarit, México.
- Céspedes Flores, F.E., Fernández, J.A.; Gobbi, J.A.; Bernardis, A.C. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 79-86.
- Conant, R. T., K. Paustian, S. J. Del Grosso y W. J. Parton. 2005. Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71:239-248.
- Da Silva, J.E.; Resck, D.V.S.; Corazza, E.J. and Vivaldi, L. 2004. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 357-363.
- Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: Sources or sinks of green-house gases? *Agroforestry systems* 31: 99-116.
- Doll U M, y V A Deregibus (1986) Efecto de la exclusión del pastoreo sobre el subsistema subterráneo de un pastizal templado húmedo. *Turrialba* 36:337-344.
- Etchevers, J.; Acosta, M.; Monreal, C.; Quednow, K. and Jiménez, L. 2002. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. *World Series*. Vol. 13. IUFRO Secretariat, Vienna. ISSN 1016-3263 – ISBN 3-901347-31-3.
- FAO. 2001. Soil Carbon sequestration for improved land management. *World soil resources reports*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (96): 98p. ISSN: 0632-0488.
- Fisher, M.J.; Rao, I.M.; Ayarza, M.A.; Lascano, C.E.; Sanz, I.J.; et al. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in South American savannas. *Nature*. 371: 236-237.

- Gobbi, J.M., Ibrahim, F. Casasola, E. Ramírez, E. Murgueito. 2005. ¿Solucionando el problema del monitoreo? El uso de un índice ecológico como herramienta para aplicar un pago por servicios ambientales. Memoria de la IV Conferencia Wallace, CATIE, Costa Rica. p. 15-17.
- Ibrahim, M.; Mario Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, N.; Ponce, G.; Vega, P.; Casasola, F. y Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, (45): 27-36.
- InfoStat. 2009. Infostat version 1.1. Grupo Infostat, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- IPCC. 2001. Glossary of Terms. Synthesis Annex B. Third Assessment Report: Climate Change 2001. The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 365 – 388 pp.
- Jobbágy, E.G. & Jackson, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10, 423-436.
- Kunst, C.; Ledesma, R.; Basan Nickish, M.; Angella, G.; Prieto, D.; et al. 2003. Rolado de Fachinales e Infiltración de Agua en Suelo en el Chaco Occidental (Argentina). *RIA*. 32: 105-126. ISSN: 0325-8718.
- Ledesma, L.L. 1973. Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Convenio Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- Ministerio de Agricultura y Ganadería, Chaco. 157 p.
- LEWIS, J. P. 1991. Three levels of floristical variation in the forests of Chaco, Argentina. *J. Veg. Sci.* 2: 125-130.
- Mahecha, L., Rosales, M., Molina, C.H. y Molina, E.J. 1998. Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*-*Cynodon plectostachyus*-*Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. In: *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. Cali, versión electrónica disponible en: <http://www.cipav.org>
- Mannetje, L.'t, Amézquita, M.C., Buurman, P., Ibrahim, M.A., ed., 2008. Carbon Sequestration in Tropical Grassland Ecosystems. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 221 pp. ISBN 978-90-8686-026-5
- Piñeiro, G.; Paruelo, J.M.; Oesterheld, M. 2006. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America. *Global Change Biology*. 12: 1267–1284.
- Olsen, SR; CV Cole; FS Watanabe & LA Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Washington, D.C. Circular 939.
- Piñeiro, G.; Paruelo, J.M.; Oesterheld, M. 2006. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America. *Global Change Biology*. 12: 1267–1284.
- Post, WM; Kwon, KC. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6:317-327.
- Prause, J. 2006. Análisis de Suelos. Técnicas de Muestreos de suelos, aguas y plantas. Bases prácticas para la fertilización. Consejo Profesional de Ingenieros Agrónomos del Chaco.

- Rüginitz, M; Chacón, M; Porro, R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Granjas. 1ed. Lima, Perú: Agroforestal Mundial (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).79 p.
- Salinas, Z.; Hernández, P. 2008. Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía. Centro Agronómico Tropical y de Enseñanza. CATIE. Turrialba CR. 234p.
- Trumbmore SE, Davidson EA, Barbosa DE, Camargo P, Nepstad DC, Martinelli LA (1995) Below ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonian. *Global Biogeochemical Cycles* 9, 515-528.
- Trumper, K.; Bertzky, M.; Dickson, B.; Van der Heijden, G.; Jenkins, M.; et al. 2009. ¿La Solución Natural? El papel de los ecosistemas en la mitigación del cambio climático. Informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 76 p.
- Walkey, A. and Black, A. 1934. An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Weil, R.R.; Islam, K. R.; Stine, M.A.; Gruver, J.B. and Samson-Liebig, S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am J. Altern. Agric.* 18: 3-17.
- Zhou, Min Zhang, Donghong Ji, and Qiaoming Zhu. 2007. Tree kernel-based relation extraction with context-sensitive structured parse tree information. In *EMNLP/CoNLL 2007*.
- Zurita, J.J. 2007. Los suelos del Departamento General Güemes, Provincia del Chaco. Etapa 1. Carta de suelos de la República Argentina. 361 p.