**FÍSICA, QUÍMICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LOS SUELOS**

**Distribución de carbono y nitrógeno orgánico en fracciones**

**granulométricas de suelos bajo pastizales, agricultura y forestaciones**

**Organic C and N distribution in granulometric fractions**

**of soils from grasslands, agriculture and forestation**

Paula Florencia Di Gerónimo1-2\*, Cecilia del Carmen Videla2, Pablo Laclau34

1 Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Bs As (CIC)

2 Universidad Nacional de Mar del Plata

3 Agencia de Extensión Rural San Martín de los Andes, INTA

\* Autor de contacto:digeronimopaula@gmail.com

Recibido: 24/06/2017

Recibido con revisiones: 26/10/2017

Aceptado: 29/10/2017

**Resumen**

Los cambios en la vegetación y el uso del suelo modifican la dinámica del C y N edáficos. Objetivo: (1) estudiar

las variaciones en C y N de la materia orgánica y sus fracciones granulométricas (MOP y MOAM), y (2) cómo

afectan al N potencialmente mineralizable estimado (Nan) bajo diferentes usos del suelo. Los usos de la tierra

analizados fueron: pastizal natural (PN), forestación con pinos (MP), franjas raleadas dentro de MP, para pastizal

secundario (PS) y agricultura (AGR). En AGR se halló el menor valor de C orgánico total (COT), N total (Nt),

de C y N en ambas fracciones y Nan, evidenciando procesos de degradación del suelo. En los sitios MP y PS

se halló mas COT (63,3 y 53,5 g Kg-1, en promedio) con respecto a PN (50,4 g Kg-1 suelo), en respuesta a un

mayor carbono asociado a los minerales (C-MOAM). En PN se determinó mas Nt, C-MOP y N-MOP que MP

y PS. Esto explicó que este último sitio presentara mas de 100 mg Kg-1 suelo mas Nan que MP y PS. N-MOP

fue la variable que mejor explicó la variabilidad del Nan (R2=0,859). La distribución de C y N en la MO y sus

fracciones reflejó los cambios en la vegetación, pero es necesario un mayor estudio de la dinámica del C y N

bajo vegetación forestal.

**Palabras clave:** MOP, MOAM, relación C/N

**Abstract**

Changes in land use modify soil C and N dynamics. Our objectives were (1) to study C and N variations in the

organic matter and its granulometric fractions (MOP and MOAM), and (2) to evaluate how these variations affect

the potentially mineralizable N (Nan) under different land uses. Analyzed land uses were: grassland (PN), agriculture

(AGR), forestation with pines (MP), and thinned strips in MP: secondary grassland (PS). We determined

the lowest total organic carbon (COT), total N (Nt), C and N in granulometric fractions, and Nan values at AGR,

evidencing soil degradation. The COT values at MP and PS (63,3 and 53,5 g kg-1, respectively) were greater

than at PN (50,4 g kg-1 soil), due to an increase in C associated with minerals (C-MOAM). We observed more

Nt, C-MOP and N-MOP at PN than at MP and P. This explained the fact that Nan was 100 mg Kg-1 greater at

PN than at MP and PS. The N-MOP was the variable that best explained Nan variability (R2 = 0,859). The C

and N distribution in the MO and its fractions reflected changes in land use, but it is necessary to better study C

and N dynamics under forest vegetation.

**Key words:** MOP, MOAM, C/N relation

**INTRODUCCIÓN**

La materia orgánica (MO) del suelo es considerada

un componente de fundamental importancia

para el desarrollo de la agricultura. Es clave en los

procesos de formación del suelo así como también

en el desarrollo de la fertilidad del mismo,

su estructuración (Six *et al.,* 2004), capacidad

de infiltración y de retención hídrica (Doran y Parkin

1994), entre otras. La MO es sensible a las

prácticas de manejo del suelo (Studdert & Echevarría,

2000), y a los cambios en el uso de tierra

(Lal, 2004). Está íntimamente relacionada con

las características edafoclimáticas de un sitio y

afecta directa e indirectamente la estabilidad del

sistema. Por ello es considerada como uno de los

atributos más importantes para definir la calidad

del suelo (Doran & Parkin, 1994).

Los cambios en la vegetación, asociados a un

cambio en el uso de la tierra, tienen consecuencias

directas en muchas propiedades físicas, químicas

y biológicas del suelo, siendo la MO, uno

de los parámetros más afectados (Lal, 2004).

En el Sudeste de la provincia de Buenos Aires,

el cambio en el uso de la tierra más notorio que

se produjo en los últimos años, fue la “agriculturización”.

Este proceso implicó principalmente

la eliminación de las pasturas de las rotaciones

mixtas, con un aumento de la frecuencia del cultivo

de soja y, en menor medida, el reemplazo de

la vegetación nativa de pastizales naturales por

agricultura (Manuel-Navarrete *et al.,* 2009). Por

otra parte, en algunos piedemontes serranos, los

pastizales fueron reemplazados por forestaciones,

debido a las restricciones que estos sitios

presentan para el uso agrícola y a la disponibilidad

de planes gubernamentales de estímulo a

la forestación. Posteriormente, en algunos sitios

forestados, se produjo la reconversión de dichas

forestaciones a sistemas silvopastoriles mediante

el raleo de franjas de árboles con el objetivo de

implantar pasturas en las áreas raleadas.

En relación al impacto de dichos cambios de

vegetación sobre variables edáficas, está bien documentado

que la conversión de vegetación nativa

a agricultura provoca reducciones en el contenido

de MO de los suelos (Lal, 2004; Sainz Rosas

*et al.,* 2011), particularmente de sus fracciones

lábiles (Sequeira *et al.,* 2011). En cuanto a la forestación

de pastizales, en revisiones bibliográficas

que contemplaron un amplio rango de climas

y suelos, se han encontrado tanto reducciones

(Guo & Gifford, 2002) como aumentos en la MO

(Eclesia *et al.,* 2012).

La MO es una mezcla altamente heterogénea

de residuos vegetales y animales en distintos grados

de descomposición y de materiales húmicos

altamente resistentes (Jenkinson, 1988). Esta

heterogeneidad determina la existencia de fracciones

con diferente labilidad cuyo estudio ha resultado

de mayor poder explicativo que el análisis

de la MO como una fracción homogénea (Cambardella

& Elliot, 1992, Tan *et al.,* 2007). El

fraccionamiento físico por tamaño de partículas

permite separar una fracción de tamaño mayor

que 53 *μ*m denominada materia orgánica particulada,

de mayor labilidad (MOP),y una fracción

menor que 53 *μ*m, la materia orgánica asociada

a los minerales limo y arcillas (MOAM), de mayor

estabilidad (Cambardella & Elliot, 1992). Este

método de fraccionamiento ha sido ampliamente

utilizado para el estudio de suelos agrícolas (Six

*et al.,* 1998, Fabrizzi *et al.,* 2003; Diovisalvi *et*

*al.,* 2008; Domínguez *et al.,* 2009) pero no ha

sido explorado en igual intensidad bajo suelos forestales

(Eclesia *et al.,* 2012).

La distribución de C y nitrógeno (N) entre dichas

fracciones, y más concretamente el contenido de N

en la fracción MOP (N-MOP), está asociado a la capacidad

del suelo de proveer N a los cultivos, ya que

representa una fracción rápidamente mineralizable

(Haynes 2005, Gregorich *et al.,* 2006). En relación

a ello, el potencial de mineralización de N del suelo

(N0), puede ser estimado mediante la determinación

del nitrógeno liberado en incubación anaeróbica de

siete días (Nan) (Echevarría *et al.,* 2000). Este indicador

ha sido ampliamente utilizado en suelos agrícolas,

habiéndose demostrado una relación estrecha

con el C-MOP (Fabrizzi *et al.,* 2003) y el N-MOP

(Diovisalvi *et al.,* 2008, Gregorutti *et al.,* 2008).

Sin embargo, la cantidad de C y N de los residuos

que se transforma en MO y posteriormente

se estabiliza en cada fracción, depende de la interacción

con la fracción mineral (protección física),

el nivel de saturación de C del suelo y de la

calidad del material vegetal, principalmente, de

su relación C/N (Six *et al.,* 2002). A su vez, la calidad depende de la vegetación predominante,

dando lugar a diferente relación C/N en la MO

(Mazzilli *et al.,* 2014, Castellano *et al.,* 2015).

La relación C/N de la MO es uno de los principales

indicadores de su calidad y ha sido utilizada

para estudiar la liberación de N por mineralización

(Whalen *et al.,* 2000).

Este trabajo se propuso estudiar, bajo condiciones

edafoclimáticas comparables, (1) las variaciones

en los contenidos de C y N y en la relación

C/N de la MO y de sus fracciones granulométricas

(MOP y MOAM), y (2) cómo afectan al N potencialmente

mineralizable estimado (Nan) bajo diferentes

usos del suelo . Se espera que la materia

orgánica, y en mayor medida la MOP, refleje las

diferencias de cantidad y calidad de aporte de residuos

que implican dichas condiciones. Los usos

del suelo estudiados fueron: 1) una forestación

con pinos de 22 años cuyo uso previo fue pastizal

natural, 2) Franjas dentro de la forestación donde

se ralearon árboles tres años antes de este estudio

y se permitió el crecimiento de especies nativas:

pastizal secundario (PS), 3) un lote bajo rotación

agrícola en siembra directa y, 4) una situación

prístina bajo pastizal natural (PN).

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Se seleccionaron áreas con diferentes manejos,

establecidos sobre suelos con características

físico-químicas similares, ubicados en un establecimiento

agropecuario localizado en el partido de

Tandil, provincia de Buenos Aires (37°40´14´´S;

59°4´49´´W). Se identificó una forestación de

pinos (*Pinus radiata* D. Don) de 22 años de antigüedad

que se encuentra sobre un mosaico de

suelos Argiudol Típico y Argiudol Vértico (Soil

Survey Staff, 2014), pertenecientes a las series

Tandil y Tres Esquinas, respectivamente (INTA,

2014). En el año 2011 (tres años antes del presente

estudio), con el objetivo de realizar un manejo

silvopastoril, en esta forestación se hicieron

raleos generando franjas de árboles de 10 m de

ancho (MP: monte de pinos). Las franjas quedaron

separadas entre sí por 20 m, y en esta zona

se permitió el crecimiento de especies nativas o

naturalizadas, lo que constituyó el segundo sitio

estudiado: PS (pastizal secundario). A fin de

comparar el efecto del manejo forestal con los

manejos agrícolas habituales en la zona y con la

situación prístina, se seleccionó un área adyacente

bajo manejo agrícola con siembra directa (SD)

por más de 20 años (AGR: agricultura). El suelo

predominante en un 70% de esta área es Argiudol

Típico (Soil Survey Staff, 2014) serie Tandil (INTA,

2014), mientras que en el 30% restante se encuentra

un suelo Argiudol Petrocálcico (Soil Survey

Staff, 2014) de la serie Azul (INTA, 2014). El

sitio AGR está bajo rotación agrícola (girasol/soja/

trigo-soja), en siembra directa desde hace más de

20 años, siendo manejado anteriormente con laboreo

convencional. La última situación seleccionada

fue un área de pastizal natural (PN: pastizal

natural) adyacente con algunas limitaciones por

la presencia de roca aflorante. En este sitio, alternan

afloramientos rocosos, con suelo Hapludol

Lítico (Soil Survey Staff, 2014), perteneciente a

la serie Sierra de los Padres (INTA, 2014).

En la **Tabla 1** se presenta una descripción de

los suelos de cada sitio. Es importante mencionar

que los cuatro sitios analizados se encuentran

distanciados entre sí no más de 300 metros, por

lo que están sometidos a las mismas condiciones

climáticas. La heterogeneidad del relieve en

la zona fundamenta que en distancias tan cortas

se presenten varias series de suelo, aunque todas

provienen del mismo material parental (Loess).

Se destaca que los mismos presentan valores similares

de arcilla, entre 30 y 38 % y de COT,

entre 39,2 y 44,6 g kg-1 suelo en los primeros 20

cm del perfil (profundidad que se analizó en este

estudio), a excepción de PN, cuyo COT es aproximadamente

el doble que el del resto de los sitios.

La gran similitud entre las características de suelo

del estrato del perfil analizado entre los cuatro

sitios, hace posible su comparación.

**Muestreo, acondicionamiento y análisis de suelo**

Se realizaron muestreos de suelo en las cuatro

situaciones seleccionadas (MP, PS, PN y AGR),

a dos profundidades: 0-5 y 5-20 cm. Se tomaron

aleatoriamente tres muestras compuestas de

al menos 20 sub-muestras en cada área experimental,

siguiendo transectas con muestreos cada 50 pasos de manera de lograr representatividad

en cada sitio. Previo a la toma de cada muestra

se eliminaron los residuos vegetales presentes en

superficie, de modo que todos datos aquí presentados

corresponden a horizontes minerales. Todas

las muestras fueron secadas en estufa a 30ºC,

molidas y tamizadas con tamiz de 2 mm o 0,5

mm, según el análisis a realizar.

A las muestras de cada sitio experimental se

les realizó un fraccionamiento físico por tamaño

de partículas en dos fracciones: >53 μm, materia

orgánica particulada (MOP) y <53 μm materia

orgánica asociada a los minerales (MOAM) (Cambardella

& Elliot, 1992). El contenido de carbono

en la MOP (C-MOP), en la MOAM (C-MOAM),

y total (COT) fueron determinados por el método

combustión húmeda a temperatura constante

(Schlichting *et al.,* 1995). Se determinó además

el contenido de N total en la MOP (N-MOP), en la

MOAM (N-MOAM), y total (Nt) por el método de

Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). Una vez

obtenidos estos datos, se calculó la relación C/N

del la MO, la MOP y la MOAM.

Se estimó el potencial de mineralización de

N (Nan) incubando una muestra en anaerobiosis

durante 7 días a 40°C (Waring & Bremmer,

1964) y cuantificando el amonio producido

por destilación-titulación (Keeney & Nelson,

1982).

**Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados mediante el software

estadístico R (R core team, 2010). Se realizaron

análisis de la varianza (ANOVA), para todas

las variables estudiadas, separadamente para

cada profundidad. Cuando se hallaron diferencias

entre sitios, las comparaciones entre medias se

realizaron mediante el test de mínima diferencia

significativa de Fischer (LSD), a un nivel de significancia

del 5%.

Además, se ajustaron modelos de regresión

lineal simple, entre el Nan y COT, C-MOP y NMOP

y relación C/N de la MOP como variables

explicativas, mediante la función *lm* del software

estadístico R.

**Tabla 1:** Descripción de los suelos en sitios bajo pastizal natural (PN), monte de pinos (MP), pastizal secundario (PS) y agricultura

(AGR).

**Table1:** Description of soils under natural grassland PN), pines forest (MP), secondary grassland (PS) and agriculture (AGR).

Nota: Los datos fueron extraídos de la carta de suelos del INTA (INTA, 2014). Los datos de C, N, %As y pH (1), corresponden al

horizonte A o Ap de cada suelo, que contempla la profundidad aquí analizada. \* El primer valor de dichas celdas corresponde a la

primera serie de suelo mencionada y el segundo a la restante. El valor pH (2) fue extraído de Di Gerónimo *et al.,* (2017), fue tomado

en las mismas muestras de suelo que se analizaron para esta investigación y es un promedio ponderado de los valores de 0-5 y 5- 20

cm de suelo.

Note: Data were extracted from INTA’s soil chart (INTA, 2014). The data of C, N, % As and pH (1) correspond to the horizon A

or Ap of each soil, which contemplates the analyzed soil depth. \*The first value of these cells corresponds to the first soil serie

mentioned and the second one to the rest. The pH value (2) was extracted from Di Gerónimo *et al.,* (2017), was analized on same

soil samples used on our investigation and represents average values between 0-5 and 5- 20 cm soil depths.

**RESULTADOS**

*Carbono orgánico total y*

*en fracciones granulométricas*

El COT de los sitios analizados presentó valores

entre 83,4 y 25,4 g kg-1 suelo y fue afectado

significativamente por el sitio a ambas profundidades

(p<0,05). El COT de todos los sitios fue

superior en los primeros 5 cm del suelo (68,8

g kg-1 suelo, en promedio) con respecto al estrato

5-20 cm (42,4 g kg-1 suelo, en promedio). A

ambas profundidades la mayor acumulación de

carbono se observó en MP y la menor en AGR

(p<0,05). El análisis del C-MOP y C-MOAM también

reveló efecto significativo del sitio a ambas

profundidades (p<0,05). El mayor contenido de

C-MOP en los primeros 5 cm del perfil se cuantificó

en PN, seguido de MP, PS y AGR. En la profuncidad

de 5-20 cm, el mayor C-MOP se halló en

PS, seguido de PN, MP y AGR respectivamente

(p <0,05) (**Figura1**). El mayor contenido de CMOAM

en los primeros 5 cm del perfil se presentó

en MP y PS (sin diferencias entre los mismos)

(p<0,05) (**Figura 1**). Dicha situación determinó

el mayor COT en estos sitios en relación a PN. En

AGR en cambio, el menor COT se explicó por un

menor contenido de C en ambas fracciones.

**Figura 1:** Carbono en las fracciones MOP y MOAM en sitios bajo pastizal natural (PN), monte de pinos (MP), pastizal secundario

(PS) y agricultura (AGR) a dos profundidades. La suma de C-MOP y C-MOAM representa el COT.

Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas de COT entre sitios a una misma profundidad. Letras minúsculas

diferentes indican diferencias significativas en C-MOP y C-MOAM entre sitios a una misma profundidad (LSD, α=0,05).

**Figure 1:** Carbon in MOP and MOAM fractions at sites under natural grassland (PN), pine forest (MP), secondary grassland (PS),

and agriculture (AGR) at two soil depths. The sum of C-MOP and C-MOAM represents COT.

Different uppercase letters indicate significant differences of COT between sites at the same depth. Significant lowercase letters

indicate significant differences in C-MOP and C-MOAM between sites at same depth (LSD, α = 0,05).

*Nitrógeno total y en fracciones granulométricas*

El contenido de Nt de los sitios analizados presentó

valores entre 5,8 y 1,5 g N kg-1 suelo y fue

afectado significativamente por el sitio a ambas

profundidades (p<0,05). Al igual que el COT, el

Nt de todos los sitios fue superior en los primeros

5 cm del suelo (4,7 g kg-1 suelo, en promedio)

con respecto al estrato 5-20 cm (2,7 g kg-1

suelo, en promedio). En los primeros 5 cm del

perfil, PN presentó mayor Nt, mientras que de

5-20 cm el mayor valor se halló en MP. A ambas

profundidades, AGR presentó menores valores de

Nt (p<0,05) (**Figura 2**). El análisis del N-MOP y

N-MOAM también reveló efecto significativo del

sitio, a ambas profundidades (p<0,05). El mayor

contenido de N-MOP en los primeros 5 cm del

perfil se cuantificó bajo PN, siendo esta fracción

la determinante de la diferencia en Nt, entre este

sitio y MP y PS (p<0,05) (**Figura 2**). A la profundidad de 5-20 cm, los mayores valores de N-MO P

fueron los de PN y PS, sin diferencias entre si,

mientras que MP presentó un valor intermedio

de N-MOP y AGR el menor valor (p<0,05) (**Figura**

**2**). El N-MOAM de los primeros 5 cm no

presentó diferencias entre PN, MP y PS (3,6 g

kg -1 suelo, en promedio), mientras que en AGR

el valor fue 0,6 g kg-1 suelo inferior (p<0,05).

A la profundidad de 5-20 cm en cambio, el

mayor contenido de N-MOAM fue el de PS, seguido

de MP, PN y AGR, sin diferencias significativas

entre las dos últimas situaciones

de manejo (**Figura 2**). El menor Nt hallado en

AGR se relacionó con un menor contenido de N

en ambas fracciones.

*Relación C/N del suelo y de*

*las fracciones granulométricas*

La relación C/N de las fracciones analizadas

presentó una gran variabilidad entre sitios y profundidades,

lo cual resulta lógico en función de

la gran diferencia en calidad, cantidad y distribución

de los residuos aportados por la vegetación

de cada sistema en el perfil. La relación C/N de la

MOAM fue menor y mucho menos variable que la

de MOP para todos los sistemas y profundidades

estudiadas (**Tabla 2**). En los primeros 5 cm de

suelo se encontró en PN el mayor contenido de

Nt, y asociado a ello, su relación C/N fue también

menor con respecto a MP y PS, los cuales no se

diferenciaron entre sí. A esta profundidad la relación

C/N de la MOP de PS fue la mayor, casi el

doble del resto de las situaciones analizadas (p<

0,05) (**Tabla 2**). En cambio, a la profundidad de

5-20 cm, el mayor contenido de Nt fue el de PS, y

de la misma manera su relación C/N también fue

la más baja entre los sistemas estudiados. La relación

C/N de la MOP fue mas variable aún en el

estrato inferior, siendo el valor más bajo el hallado

en MP y el mas alto en AGR (**Tabla 2**).

Tabla 2: Relación C/N del suelo completo y de las fracciones MOAM y MOP de sitios bajo pastizal natural (PN), monte de pinos

(MP), pastizal secundario (PS) y agricultura (AGR).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre sitios a una misma profundidad (LSD, α=0,05).

Table 2: C/N ratio of the whole soil and the MOAM and MOP fractions of sites under natural grassland PN), pines forest (MP),

secondary grassland (PS) and agriculture (AGR).

Different lowercase letters indicate significant differences between sites at the same soil depth (LSD, α = 0,05).

*Relación entre el Nan y la distribución de C y N*

*en fracciones granulométricas*

Los valores de Nan promedio de cada sitio

y profundidad se presentan en la **Tabla 3**. El

mayor valor de Nan, a ambas profundidades se halló en PN, mientras que el menor valor

se encontró en AGR. Los sitios MP y PS, presentaron

valores intermedios, sin diferencias

significativas entre ellos (p<0,05) (**Tabla 3**).

Las relaciones entre el Nan y los contenidos

de COT, C-MOP y N-MOP y relación C/N de la

MOP se presentan en las **Figuras 3.a, 3.b, 3.c**

**y 3.d**, respectivamente.

**Tabla 3:** Nitrógeno liberado en incubación anaeróbica corta

(Nan) de sitios bajo pastizal natural (PN), monte de pinos

(MP), pastizal secundario (PS) y agricultura (AGR).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas

entre sitios a una misma profundidad (LSD, α=0,05).

**Table 3:** Nitrogen released in short anaerobic incubation (Nan)

under natural grassland PN), pines forest (MP), secondary

grassland (PS) and agriculture (AGR).

Different lowercase letters indicate significant differences

between sites at the same depth (LSD, α = 0,05).

Las tres primeras relaciones mencionadas fueron

significativas y la asociación fue mayor cuando

se analizó la relación entre Nan y C-MOP, que

cuando el análisis fue hecho entre Nan y COT.

La asociación mejoró cuando se analizó la relación

entre Nan y N-MOP, siendo su coeficiente

de determinación (R2), el mayor de entre las asociaciones

estudiadas (p<0,05). No se encontró

asociación entre la relación C/N de la MOP y el

Nan (**Figura 3.d**).

**DISCUSIÓN**

Los resultados muestran la influencia directa

de la cantidad y calidad del residuo aportado en

cada sistema sobre el COT y Nt. Bajo PN se halló

un menor COT y mayor Nt en comparación con

MP y PS (**Figuras 1 y 2**). Es conocido que los

montes aportan mayor cantidad de biomasa en

relación a los pastizales (Paruelo et al., 2000),

pero con una mayor relación C/N. Esto implica

por un lado, menor aporte de nitrógeno en relación

a los pastizales, y por otro, que su descomposición

es limitada (Schlatter & Otero, 1995).

En el caso de PS, a pesar que ya no hay aporte

de residuos de pinos, y además las especies

herbáceas que crecieron luego del raleo generan

residuos de mayor calidad, los valores de C y N se corresponden con los de MP. Es posible que el

breve período desde la conversión de MP a PS,

tres años al momento de realizado el muestreo,

sea causante de este resultado.

Al comparar PN con AGR se observa valores

marcadamente menores tanto de COT como de Nt

(**Figuras 1 y 2**) particularmente en los primeros 5

cm del suelo. A pesar de que existen diferencias

en la calidad del aporte entre residuos de cultivos

y los pastizales, dicha diferencia no es tan notoria

como la existente entre los pastizales y las forestaciones.

En la Región Pampeana los aportes de

residuos de los cultivos anuales oscilan entre 30

y 70 % de los atribuidos a los pastizales naturales

(Alvarez & Steinbach, 2012), conduciendo a

la disminución de los niveles de COT y Nt de los

suelos cultivados en comparación con los no cultivados.

Es preciso tener en cuenta también que

al reemplazar pastizales por cultivos, las tareas

de labranza del suelo producen un disturbio que

genera oxidación de la materia orgánica (Balesdent

*et al.,* 2000).

En suelos Argiudoles de la misma región geográfica

y características edáficas, Rodríguez *et*

*al.,* (2015), también hallaron mayores valores

de COT en sitios forestados con acacias, que en

pastizales naturales, con diferencias entre sitios

similares a las halladas en este trabajo. Eclesia *et*

*al.* (2012), en una revisión que incluyó un amplio

rango de climas y tipos de suelo, concluyeron que

el balance de carbono del suelo en las transiciones

de vegetación natural a forestaciones, depende

de la precipitación media anual del sitio y de

la edad de la plantación. Así, en sitios con precipitación

media anual menor a 1200 mm y más

de 20 años desde la conversión, lo cual coincide

con las características de los sitios analizados en

el presente estudio, se presentan ganancias netas

de carbono o valores similares al de la vegetación

original.

Por otro lado, es conocido que el pH del suelo

es el factor dominante que controla la transformación

microbiana de MO (Kemmit *et al.,* 2006).

En otro estudio realizado en los mismos sitios, se

determinó que el pH de MP es de 5,14 y 5,45

a las profundidades 0-5 y 5-20 cm, respectivamente,

valores 0,73 y 0,25 unidades inferiores

a los del PN a las mismas profundidades (Di Gerónimo,

2018). Por lo tanto, es razonable inferir

que el bajo valor de pH en MP haya limitado la

actividad biológica, favoreciendo la acumulación

de COT con respecto a PN.

Las diferencias en el COT entre PN y MP son

un reflejo de la mayor cantidad de C-MOAM

y menor C-MOP en MP, en coincidencia con

lo hallado por Eclesia *et al.* (2012). A pesar

de no haberse cuantificado el carbono orgánico

disuelto (COD), es probable que esta variable

haya sido una fuente de carbono importante en

MP, particularmente al C-MOAM, ya que debido

a la metodología utilizada, la fracción soluble

estaría contabilizada en la MOAM. En un

estudio que incluyó los resultados de 42 suelos

bajo vegetación forestal de regiones templadas

de Norteamérica y Europa, Michalzik

*et al.* (2001) demostraron que el COD es un

componente importante de la materia orgánica

en dichos suelos. Entre 10 y 40 g de COD m2

año-1 se traslocan desde los horizontes orgánicos

a los horizontes minerales, mientras que

los flujos se reducen a valores entre 1 y 10 g

de COD m2 año-1 hacia horizontes más profundos,

sugiriendo una fuerte retención de COD en

horizontes subsuperficiales. Los valores más

altos, tanto de aporte como de retención presentados

en dicho estudio, estuvieron en los

suelos forestados con coníferas, como el aquí

analizado. Además, existe evidencia bibliográfica

de que algunos de los compuestos del COD

tienen una alta afinidad por la fracción fina del

suelo, siendo rápidamente estabilizados (Kalbitz

*el al.,* 2005).

Por otro lado, el contenido de Nt de MP no se

diferenció del de PN en los primeros 5 cm, y fue

mayor a aquél en el estrato inferior, principalmente

por un mayor N-MOAM lo cuál resultó sorpresivo,

ya que normalmente las mayores diferencias

se presentan en los primeros cm del perfil.

La apertura del dosel arbóreo (PS) no ocasionó

cambios en el COT en los primeros 5 cm del suelo,

pero sí una disminución del C-MOP, del Nt y

del N-MOP (**Figuras 1 y 2**). En la profundidad de

5-20 cm, el COT disminuyó luego de la conversión

de MP a PS principalmente por una disminución

de C-MOAM, y el Nt aumentó, en este caso

por un aumento del N en ambas fracciones. El aumento de pH de 0,2 unidades a ambas profundidades

en PS con respecto a MP (Di Gerónimo*,*

2017), pudo estimular la actividad biológica y

con ello la mineralización de C-MOP y N-MOP en

los primeros 5 cm del suelo, ya que éstas son las

fracciones más lábiles. Sin embargo, de 5-20 cm,

el N-MOP de PS fue superior al de MP. Es posible

que el mayor contenido de N a esta profundidad

se origine en la mayor calidad de las raíces de las

especies herbáceas que se desarrollan bajo PS.

En presencia de una fuente de carbono fácilmente

disponible y condiciones más propicias para la

actividad biológica (mayor pH), el residuo de pinos

remanente a esta profundidad también pudo

ser descompuesto y los compuestos nitrogenados

formados, incorporados a la MOP (Cotrufo *et al.,*

2013).

El menor valor de COT en AGR con respecto a

PN coincide con lo reportado por Rodríguez *et al.*

(2015) para Argiudoles del Sudeste Bonaerense

y por Sainz Rozas *et al.* (2011) para la Región

Pampeana. La reducción de C de los suelos del

Sudeste Bonaerense reportada por Sainz Rozas

*et al. (*2011) fue de 36,6% en los primeros 20

cm del suelo con respecto a su situación prístina,

lo cual es algo menor que los valores encontrados

en este estudio (43,8%, promedio ponderado

de 0-20 cm). Los menores valores de COT y

Nt en AGR con respecto a PN, se asociaron a

menor contenido de C y N en ambas fracciones

estudiadas, pero fue más notorio en la MOP, en

coincidencia con otros trabajos que afirman que

la MOP tiende a disminuir rápidamente cuando

un suelo bajo vegetación nativa es utilizado para

cultivos agrícolas anuales (Six *et al.,* 1998, Eiza

*et al.,* 2005). Dado que la mineralización del C y

N edáficos son procesos acoplados, resulta lógico

observar que la reducción en el contenido de CMOP

por el uso agrícola, se asocie a un reducción

en el contenido de N de dicha fracción (Diovisalvi

*et al.,* 2008). La diferencia significativa de CMOAM

y N-MOAM entre PN y AGR es evidencia

de un nivel de degradación del suelo importante

por su uso agrícola.

A pesar de que se ha reportado una estrecha

asociación entre Nan y COT (Urquieta *et al.,*

2008), en este estudio los sitios con mayor COT

(MP y PS), no fueron los de mayor Nan (**Tabla 2**

**Figuras 1 y 3.a**). El Nan en PN fue 102,2 mg kg-1

suelo, superior al promedio de MP y PS en los

primeros 5 cm del perfil. En el estrato 5-20 cm

esta diferencia se mantuvo aunque con menores

valores (**Tabla 2**). A pesar de tener un mayor COT,

MP y PS presentaron menores contenidos de Nt,

C-MOP y N-MOP, lo cual puede explicar al menos

en parte los menores valores de Nan hallados en

estos sitios en relación a PN.

Es conocido que la MOP por su mayor labilidad

con respecto a la MOAM, es una fuente de nitrógeno

rápidamente disponible (Haynes, 2005).

Es por ello que la asociación hallada entre Nan y

C-MOP es más estrecha que con el COT (**Figura**

**3.b**), en coincidencia con lo reportado por Fabrizzi

*et al.* (2003). La asociación es aún mayor con

el N-MOP (**Figura 3.c**), al igual que lo hallado por

Diovisalvi *et al.* (2008) y Gregorutti *et al.* (2008).

A pesar que las relaciones entre Nan y C-MOP y

entre Nan y N-MOP son estrechas y significativas,

cuando el mismo análisis se realizó excluyendo

los datos de MP, el R2 de la primera relación aumentó

de 0,71 a 0,84; mientras que el R2 entre

Nan y N-MOP aumentó de 0,85 a 0,94 Esto es

indicio de que en MP existe una fuente de variación

no contemplada, que podría estar asociada a

la calidad de la MO. Se podría esperar entonces,

que las diferencias en Nan se explicaran por cambios

en un parámetro de calidad de la MOP, como

la relación C/N. A pesar de ello, no se encontró

asociación de ningún tipo entre dichas variables

(**Figura 3.d**) (p>0,05). En la misma línea también

se analizó la proporción de Nt presente en la

fracción MOP (relación N-MOP/Nt). Esta relación

mostró escasa variabilidad, presentando valores

entre 29% (AGR) y 39% (PN) en los primeros

5 cm, y entre el 10% y el 22% en 5-20 cm. Sin

embargo esta variable no presentó diferencias significativas

entre PN, PS y MP a ninguna profundidad;

sólo se halló diferencia entre estos tres sitios

y AGR. En base a los resultados presentados, que

muestran que el uso del suelo afecta la dinámica

de las fracciones de la materia orgánica del suelo,

y en consecuencia las funciones edáficas que ella

condiciona, como el potencial de mineralización

del nitrógeno, se considera necesario profundizar

estos estudios, de manera de explicar las diferencias en Nan de sitios con vegetación tan contrastante.

**CONCLUSIONES**

La materia orgánica refleja los cambios en las

características de los residuos en cada situación

de manejo. Bajo influencia forestal, hay una gran

acumulación de carbono con respecto a aquellos

sistemas cuya vegetación es herbácea, mientras

que estos últimos acumulan relativamente más

nitrógeno con respecto a los primeros. Bajo las

condiciones edafoclimáticas analizadas los diferentes

usos del suelo, generan cambios en los patrones

de distribución de C y N en fracciones granulométricas.

En el manejo agrícola, las mayores

diferencias con respecto al resto de los sistemas

se hallaron en la MOP mientras que en la forestación

estuvieron asociadas principalmente a cambios

en fracción MOAM. Estos resultados generan

la necesidad de profundizar el conocimiento sobre

la dinámica del C y N en suelos forestales.

**Figura 3:** Relación entre nitrógeno

incubado en anaerobiosis (Nan) y

carbono orgánico total (COT) (a),

carbono en la fracción MOP (C-MOP)

(b), nitrógeno en la fracción MOP

(N-MOP) (c) y relación C/N de la

fracción MOP (d).

**Figure 3:** Relationship between nitrogen

incubated in anaerobiosis (Nan) and

total organic carbon (COT) (a), carbon

in the MOP fraction (C-MOP) (b),

nitrogen in the MOP fraction, (N-MOP)

(C) and the C / N ratio of the MOP

fraction (d).

**Bibliografía**

Álvarez R & HS Steinbach. 2012. Efecto del uso agrícola sobre

el nivel de materia orgánica. En: Álvarez R; G Rubio;

CR Álvarez; & RS Lavado (eds). Fertilidad de suelos caracterización

y manejo en la Región Pampeana. Facultad

de Agronomía-UBA. Buenos Aires. pp 181-199.

Balesdent J; C Chenu & M Balabane. 2000.Relationship of

soil organic matter dynamics to physical protection and

tillage.Soil Till. Res. 53(3):215-230.

Bremner JM & CS Mulvaney.1982. Nitrogen-total. In Page

AI; RH Miller & DR Keeney (eds.). Methods Of Soil Analysis.

Chemical and Microbiological Methods. American

Society Of Agronomy Madison Wisconsin USA. pp. 595-

617.

Cambardella CA & ET Elliot. 1992. Particle soil organic-matter

changes across agrassland cultivation sequence. Soil

Sci. Soc. Am. J. 6(3): 777-783.

Cotrufo MF; MD Wallenstein; CM Boot; K Denef & E Paul.

2013. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization

(Mems) framework integrates plant litter decomposition

with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs

form stable soil organic matter? Glob. Change Biol.

19(4): 988-995.

Di Gerónimo PF. 2018. Cambios en algunas propiedades

químicas del suelo en áreas forestadas, deforestadas

y agrícolas Chilean Journal of Agricultural and Animal

Sciences. En prensa.

Diovisalvi NV; GA Studdert; GF Domínguez & MJ Eiza. 2008.

Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno

anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de

labranza. Ci. Suelo. 26(1): 1-11.

Dominguez GF; NV Diovisalvi; GA Studdert & MG Monterubbianesi.

2009. Soil organic C and N fractions under

continuous cropping with contrasting tillage systems on

mollisols of the southeastern Pampas. Soil Till. Res. 102:

93–100.

Doran JW & TB Parkin.1994. Defining and assessing soil

quality In: Doran JW; DC Coleman; DF Bezdicek & BA

Stewart (Eds). Defining soil quality for a sustainable environment.

Soil Sci. Soc. Am. J. Special Publication Nº

35.Madison Wisconsin E.E.U.U. pp3-21.

Echevarría HE; N San Martin & R Bergonzi. 2000. Métodos

rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable

en suelos. Ci. Suelo 18(1): 9-16.

Eclesia RP; E Jobbagy; RB Jackson; FB Biganzoli & G Piñeiro.

2012. Shifts in soil organic carbon for plantation

and grassland establishment in native forests and

grasslands of South America. Global Chan. Biol. 18(10):

3237–3251.

Eiza MJ; N Fioriti; GA Studdert & H Echeverría. 2005. Fracciones

de carbono orgánico en la capa arable: efecto de

los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada.

Ci. Suelo 23(1):59-68.

Fabrizzi KP; A Morón & FO García. 2003. Soil carbon and

nitrogen organic fractions in degraded vs. no degraded

Mollisols in Argentina. Soil Sci. Soc. Am. J. 67(6): 1831-

1841.

Gregorich EG; MH Beare; UF McKim & JO Skjemstad. 2006.

Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed

organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 70(3):

975–985.

Gregorutti VC; LE Novelli; M Melchiori; R José; MV Ormaechea

& OP Caviglia. 2014. Nitrógeno incubado en anaerobiosis

y su relación con el nitrógeno orgánico en diferentes

fracciones. Ci. Suelo 32(1):41-51.

Guo LB & RM Gifford. 2002. Soil carbon stocks and land

use change: a meta analysis. Global Chan. Biol. 8(4):

345–360.

Haynes RJ. 2005. Labile organic matter fractions as central

components of the quality of agricultural soils: an overview.

Adv. Agr. 85. 221-268.

INTA. 2014. http://Anterior.Inta.Gov.Ar/Suelos/Cartas/ Consulta:

15 octubre 2017

Kalbitz K; D Schwesig; J Rethemeyer & E Matzner. 2005.

Stabilization of dissolved organic matter by sorption to

the mineral soil. Soil Biol. Biochem. 37: 1319–1331.

Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms.

p. 643-698. In Page AL, et al. (eds.). Methods of soil

analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison,

WI.

Kemmitt SJ; D Wright; KWT Goulding & DL Jones. 2006.

pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two

agricultural soils. Soil Biol. Biochem. 38(5): 898-911.

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global

climate change and food Security Science.

304(5667):1623-1627.

Manuel-Navarrete D; G Gallopín; M Blanco; M Díaz-Zorita;

D Ferraro; H Herzer; P Laterra; M Murmis; G Podestá;

J Rabinovich; E Satorre; F Torres & E Viglizzo. 2009.

Multi-causal and integrated assessment of sustainability:

the case of agriculturization in the Argentine Pampas. Environ.

Dev. Sustain. 11(3): 621-638.

Mazzilli SR; AR Kemanian; OR Ernst; RB Jackson & G Piñeiro.

2014. Priming of soil organic carbon decomposition

induced by corn compared to soybean crops. Soil Biol.

Biochem. 75: 273-281.

Michalzik B; K Kalbitz; JH Park; S Solinger & E Matzner.

2001. Fluxes and concentrations of dissolved organic

carbon and nitrogen–a synthesis for temperate forests.

Biogeochemistry. *52*(2): 173-205.

Paruelo JM; M Oesterheld; CM Di Bella; M Arzadum; J Lafontaine;

M Cahuepé & CM Rebella. 2000. Estimation of

primary production of subhumid rangelands from remote

sensing data. Applied Vegetation Science. 3(2): 189-

195.

R Development Core Team. 2010. R: A language and environment

for statistical computing. R Foundation for Statistical

Computing Vienna Austria. (http://www.R-project.

org).

Rodríguez S; C Videla; EC Zamuner; LI Picone; NN Pose &

NO Maceira. 2015. Cambios en propiedades químicas

de un suelo Molisol de la Región Pampeana argentina

con diferente historia de manejo. Chilean Journal of Agricultural

and Animal Sciences. 31: 137-148.

Sainz Rozas HR; HE Echeverria & HP Angelini. 2011. Niveles

de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de

las Regiones pampeana y extrapampeana argentina. Ci.

Suelo. 29(1): 29-37.

Schlatter JE & L Otero. 1995. Efecto de Pinus radiata sobre

las características químico- nutritivas del suelo mineral

superficial. Bosque 16(1): 29-46.

Schlichting, E; HP Blum; & K Stahr. 1995. Bodenkundliches

Prakticum, Berlin/Wien. Blockwell. Wissenschafts-

Verlag. 295p.

Sequeira CH; MA Marcus & BP Jones. 2011. Evaluation of

potentially labile soil organic carbon and nitrogen fractionation

procedures. Soil Biol. Biochem. 43(2): 438-444.

Six J, H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history

of research on the link between (micro) aggregates, soil

biota, and soil organic matter dynamics Soil Tillage Res.

79 7–31

Six J; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization

mechanisms of soil organic matter: implications for Csaturation

of soils. Plant soil. 241(2):155-176.

Six J; ET Elliott; K Paustian & JW Doran. 1998. Aggregation

and soil organic matter accumulation in cultivated

and native grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 62(5):

1367-1377.

Soil Survey Staff. 2014. Keys To Soil Taxonomy 12th Ed.

USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington

Dc.

Studdert GA & HE Echevarría. 2000. Crop rotations and nitrogen

fertilization to manage soil organic carbon dynamics.

Soil Sci. Soc. Am. J. 64(4):1496-1503.

Tan Z; R Lal L Owens & RC Izaurralde. 2007. Distribution of

light and heavy fractions of soil organic carbon as related

to land use and tillage practice. Soil Till. Res. 92(1):

53–59.

Urquieta JF; GF Domínguez; GA Studdert & S Tettenborn.

2008. Relación entre nitrógeno anaeróbico y materia

orgánica de suelos del Sudeste Bonaerense. Actas “XXI

Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo”. 13 a 16 de

mayo de 2008 Potrero de los Funes San Luis Argentina.

En CD.

Waring SA & JM Bremner. 1964. Ammonium production in

soil under waterlogged condition as an index of nitrogen

availability. Nature 201: 951-952.

Whalen JK; PJ Bottomley & DD Myrold. 2000. Carbon

and nitrogen mineralization from light and heavy fraction

additions to soil. Soil Biol. Biochem. 32(10): 134

-1352.